

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Desarrollo e implementación de esclusa para la inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario

Autora:

Cristina

GUZMÁN FERNÁNDEZ

Tutor:

Dr. Juan Carlos

GONZÁLEZ VÍCTORES

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Leganés, 19 de Febrero de 2019



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada

Título: Desarrollo e implementación de esclusa para la inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario

Autora: Cristina Guzmán Fernández

Tutor: Dr. Juan Carlos González Vítores

EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día de de ... en, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Resumen

La presente memoria recoge el trabajo de diseño y desarrollo de una esclusa de seguridad con el fin de asegurar el equipo de protección individual del personal sanitario que trata a pacientes infectados por brotes epidémicos, con alto riesgo de contagio.

Estos brotes recogen enfermedades contagiosas cuya tasa de mortalidad puede llegar al 90 %, por lo cual el personal sanitario que entra en contacto con la misma ha de seguir un protocolo de seguridad muy estricto.

En este protocolo nos encontramos con una de las tareas más importantes y con mayor posibilidad de contagio, como es la retirada del traje protector después de la visita al paciente.

Para ello se desarrolla el proyecto de “inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola”, cuyo fin es evitar la contaminación mediante el análisis automatizado de posibles roturas y/o contaminación por fluidos corporales.

Así esta memoria consiste en el desarrollo e implementación de la esclusa de seguridad en la cual se realiza el análisis automatizado del traje protector, en el cual se hará el análisis previamente comentado de roturas y/o fluidos corporales, para reducir la posible tasa de contagio y asegurar la protección del personal sanitario.

Palabras clave: Brotes epidémicos, esclusa, automatización, prevención, EPI.

Abstract

This report includes the design and development of a safety lock to ensure the Individual Protection Equipment of health personnel who work with patients infected by epidemic outbreaks, with a high risk of infection.

These outbreaks include contagious diseases whose mortality rate can reach 90 %. To avoid this, health personnel who come into contact with those infected must follow a strict safety protocol. In this protocol we find one of the most important tasks with the greatest possibility of infection, which is the removal of the protective suit after the visit to the patient.

For this, the robotic inspection project of protective suits for health personnel working with high-level isolation patients, including Ebola, has been developed to prevent contamination through the automated analysis of possible breakages and / or contamination through contact with bodily fluids.

Thus, this report consists of the development and implementation of the safety lock in which the protective suit analysis is carried out. The previously commented analysis of breaks and / or bodily fluids will be done inside this lock, in order to reduce the possible infection rate and ensure the protection of health personnel.

Key words: Epidemic outbreaks, lock, automatization, prevention, PPE.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mis padres por facilitarme siempre la oportunidad de empezar y seguir. Por motivarme a intentar hacerlo cada día mejor y ayudarme a lograrlo.

También agradecer a mi tutor Juan Victores, por tener siempre un momento para resolver las dudas que se presentasen en el proyecto. También como ofrecerme la posibilidad de participar en un proyecto de esta magnitud, aprendiendo no solo sobre la parte técnica del asunto sino sobre todo lo demás que lo rodea y acompaña. Así como a David Estevez siempre dispuesto a ayudar y a resolver cualquier pequeña dificultad que se encontrase. Sin duda, dos personas de las que he aprendido mucho.

Además de agradecer a todos mis compañeros y amigos, por sus ánimos incansables y desearme siempre lo mejor sin llegar a dudar de mi capacidad, aun sabiendo que en momentos de estrés puede ser difícil llegar a entenderse. Pero siempre ofreciéndose a ayudar con una gran sonrisa y sin esperar nada a cambio.

Índice general

Resumen	VII
Abstract	IX
Agradecimientos	XI
1 Introducción	1
1.1 Descripción del proyecto HORUS	1
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos operativos	5
1.4 Estructura del documento	5
2 Estado del arte	7
2.1 Esclusa de seguridad Hospital Universitario La Paz - Carlos III	7
2.2 Antecedentes y estado actual	9
2.3 Justificación de la solución	13
2.4 Recursos	13
2.4.1 Software	14
2.4.2 Hardware	14
3 Gestión del proyecto	15
3.1 Fases del proyecto	15
3.2 Marco regulador	16
3.2.1 Marco legal	16
3.2.2 Marco organizativo	19
3.3 Entorno socio-económico	21

3.3.1	Impacto social	21
3.3.2	Impacto económico	22
3.3.3	Impacto ambiental	23
3.4	Presupuesto	24
4	Desarrollo	27
4.1	Estructura mecánica	27
4.1.1	Modelado 3D	27
4.1.2	Plataforma giratoria	32
4.2	Electrónica y control	35
4.2.1	Justificación de los actuadores	35
4.2.2	Control	39
4.2.3	Esquema eléctrico	41
4.2.4	Cámara e iluminación	44
4.2.5	Cámara	44
4.2.6	Iluminación	46
4.2.7	Cableado de datos	49
5	Conclusiones	51
5.1	Conclusiones	51
5.1.1	Evaluación de los objetivos	52
5.2	Líneas futuras	53
	Bibliografía	54

Índice de figuras

1.1	Ejemplo de retirada de traje EPI en esclusa	3
2.1	Vista del entorno de inspección para el EPI	8
2.2	Vista real de la esclusa	8
2.3	Procedimiento real de retirada de EPI	9
2.4	Ejemplo de escáner de cuerpo completo aeroportuario	9
2.5	Ejemplo de escáner por backscatter	10
2.6	Ejemplo máquina I-TeX	11
2.7	Ejemplo impresora 3D	12
2.8	Ejemplo de inspección con equipo de UV	12
3.1	Fases del proyecto	15
3.2	Tipos de licencias Creative Commons	19
3.3	Producción eléctrica en España	24
3.4	Resumen de costes totales	24
4.1	Modelo 3D: Estructura	28
4.2	Modelo 3D: Raíles	28
4.3	Modelo 3D: Estructura del cableado	29
4.4	Modelo 3D: Actuadores y sensores eje X	29
4.5	Modelo 3D: Actuadores y sensores eje Z	30
4.6	Modelo 3D: Cámara y focos	30
4.7	Modelo 3D completo	31
4.8	Estructura real completa	31
4.9	Estructura real: Detalle parte frontal	32
4.10	Estructura real: Detalle actuadores eje X	32

4.11	Plataforma giratoria comercial	33
4.12	Base giratoria: Rodamiento	34
4.13	Base giratoria: Engranajes	34
4.14	Ejemplo de funcionamiento servomotor	36
4.15	Modos de funcionamiento de pulsador	38
4.16	Acoplador	39
4.17	Movimiento circular a movimiento lineal	39
4.18	ARDUINO MEGA 2560	40
4.19	RAMPS 1.4	40
4.20	Driver: Pololu DRV8825	41
4.21	Conexionado en placa RAMPS 1.4	42
4.22	Conexionado real en placa RAMPS 1.4	43
4.23	Conexionado en placa MOSFET4	43
4.24	Conexionado real en placa MOSFET4	44
4.25	Montaje de la adaptación de los focos	47
4.26	Adaptación electrónica de los focos	48
4.27	Adaptación electrónica de los focos	48
4.28	Conjunto focos y cámara	49
4.29	Conjunto focos y cámara frontal	49

Índice de tablas

1.1	Tasa de letalidad del Ébola a nivel mundial	2
3.1	ANEXO IV Indicaciones relativas a las medidas de contención y a los niveles de contención	17
3.2	Plazos de la primera convocatoria del TFG. Marzo 2019.	20
3.3	Diagrama de Gantt del proyecto HORUS	20
3.4	Diagrama de Gantt del TFG	21
3.5	Análisis DAFO	23
4.1	Ventajas y desventajas de la base giratoria comercial vs propia.	35
4.2	Comparativa motores paso a paso	37
4.3	Relación entre la resolución y el zoom en la cámara	46
4.4	Posición focos y canal MOSFET	47
4.5	Comparativa CAT 5 vs CAT 6	50

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se tratará la descripción general del proyecto “Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola” (HORUS), y planteamiento del problema, después se hará una breve descripción de la solución aplicada al tema del que trata el proyecto en el que se basa el Trabajo de Fin de Grado (TFG).

1.1. Descripción del proyecto HORUS

El proyecto HORUS es un proyecto desarrollado por la Universidad Carlos III de Madrid, en particular el RoboticsLab¹ y el Hospital Universitario La Paz - Carlos III.

Se trata de un proyecto presentado a la convocatoria de 2015 de Proyectos «Explora Ciencia» y «Explora Tecnología» convocado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica, dentro del subprograma estatal de Generación de Conocimiento. El objetivo de la convocatoria es promover la realización de proyectos de investigación tanto científica como tecnológica para desarrollo de nuevos planteamientos.

El proyecto busca el desarrollo de tecnologías robóticas con el objetivo de comprobar la integridad del Equipo de Protección Individual (EPI) del personal sanitario que trata pacientes en aislamiento de alto nivel.

Las enfermedades de alto riesgo de contagio se tratan mediante estrictos procedimientos, siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud² (OMS).

Entre las enfermedades por brotes epidémicos, con alto riesgo de contagio encontramos: Dengue, Enfermedad por el virus del Ébola, Enfermedad por el virus de Zika, Fiebre amarilla, Fiebre del Valle del Rift, Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, Fiebre hemorrágica de Marburgo, Gripe, Gripe aviar, Hepatitis, Infecciones por coronavirus, Infección por el virus Hendra, Infección por el virus Nipah (VNi), Meningitis, Peste, Síndrome respiratorio agudo severo (SARS), Tularemia, Viruela y Viruela símica [1].

¹RoboticsLab Universidad Carlos III de Madrid [En línea] Disponible en: <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/> [Accedido en 25/01/2019]

²OMS [En línea] <https://www.who.int/about/who-we-are/es/> [Accedido en 25/01/2019]

Muchas de estas enfermedades con alta tasa de mortalidad no resultan conocidas, como puede ser el caso de la Tularemia o el SARS, pero entre ellas encontramos una de las enfermedades que más agitación ha producido a nivel mundial en los últimos años, el Ébola, y qué es la enfermedad que se trató en Unidad de Aislamiento de Alto Nivel (UAAN) del Hospital Universitario La Paz - Carlos III, y que por cercanía y la colaboración que se está realizando será en la que se centre este TFG.

La Enfermedad por el Virus del Ébola (EVE), antes conocida como la fiebre hemorrágica de Ébola, actualmente tiene una tasa de mortalidad cercana al 50 %, pero que ha sido de hasta el 90 %, lo que la constituye como una gran amenaza para la salud[2][3].

TABLA 1.1. TASA DE LETALIDAD DEL ÉBOLA A NIVEL MUNDIAL

Año	País	Casos	Tasa de letalidad
2015	Italia	1	0 %
2014	República Democrática del Congo	66	74 %
2014	España	1	0 %
2014	Reino Unido	1	0 %
2014	Estados Unidos	4	25 %
2014	Malí	8	75 %
2014	Nigeria	20	40 %
2014-2016	Sierra Leona	14124	28 %
2014-2016	Liberia	10675	45 %
2014-2016	Guinea	3811	67 %

Como se puede observar en la tabla presentada es la tasa de letalidad del Ébola en el último brote con más atención mediática, lo que no quiere decir que no se hayan producido otros brotes de ahí en adelante, pero al no afectar de forma directa a la sociedad occidental no han tenido tanta repercusión, aún así se puede apreciar que se trata de una enfermedad que afecta de forma más radical a los países no desarrollados, cuyos índices de letalidad y contagio son muchísimo más altos.

El virus se contagia de persona a persona mediante el contacto directo de fluidos corporales o incluso contacto indirecto de materiales contaminados con los mismos [4]. Para evitar este contacto hay que garantizar unas medidas de protección al personal que trabaja en ambientes con riesgo de contagio [5].

El EPI es el traje con el cual se atiende a los pacientes con una infección de alto riesgo de contagio y está formado por:

- Un traje aséptico y botas de goma.
- Guantes de nitrilo, dos pares.
- Mono que cubre todo el cuerpo a excepción de manos, pies y cara.
- Mascarilla facial y gafas protectoras.

Este traje tiene por objetivo la protección, de la persona que lo porta contra cualquier riesgo de contagio.

El momento de mayor riesgo de contacto es, tras el tratamiento del paciente, durante la retirada del traje [6]. Este proceso se realiza en una esclusa y los pasos son:

- Lavar las manos y retirar el equipo que cubre cabeza y cuello.
- Lavar las manos y retirar el mono, así como de los guantes externos.
- Retirar del equipo de protección ocular y mascarilla.
- Lavar las manos con los guantes internos aún puestos y retirada de las botas.
- Retirar de los guantes interiores y lavar las manos descubiertas [7] [8].

Como podemos observar, lavarse las manos forma parte imprescindible del proceso ya que en caso de un posible contagio por un fluido este se quedaría sin lugar a dudas en uno de los muchos lavados de manos ya que no llegaría en ningún caso a tener contacto directo con el personal sanitario encargado del tratamiento del paciente.

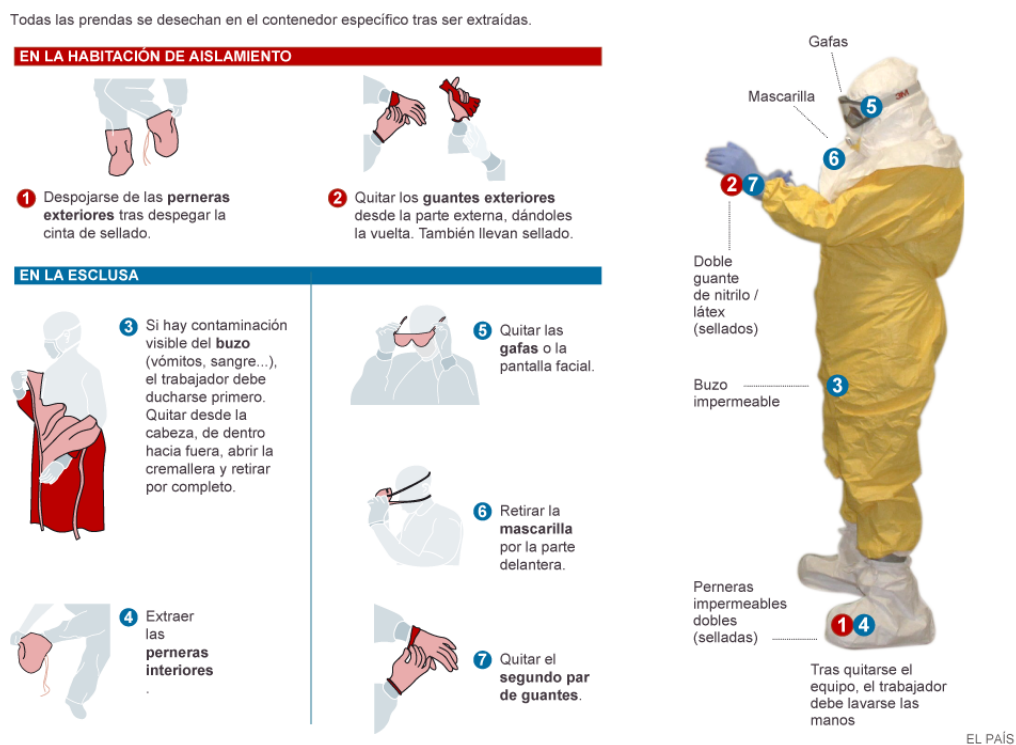


Fig. 1.1. Ejemplo de retirada de traje EPI en esclusa [9]

Es necesario antes de la retirada una auto-inspección o la inspección de un observador, para evitar una posible contaminación producida por una rotura en el traje y/o restos de sangre, vómitos u orina. Sin embargo, esta revisión no se trata de un método objetivo, por lo cual se propone el proyecto de inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel para el desarrollo de esta tarea.

1.2. Planteamiento del problema

La motivación del TFG surge de la necesidad de hacer más segura la retirada del traje, desarrollando una forma más objetiva de la revisión previa a la retirada del mismo, previniendo así el contagio de enfermedades altamente contagiosas. Así nos encontramos con un proyecto que plantea cubrir esta necesidad.

Se trata de un proyecto en el cual se realizará el análisis de los EPI mediante una cámara que utilizando algoritmos de procesamiento de imágenes y aprendizaje en robótica, tipo deep learning/ deep reinforcement learning. El deep-learning es una ramificación de la inteligencia artificial, que utiliza machine learning, basándose en redes neuronales para resolver problemas de gran tamaño. Es un sistema que se usa para identificar objetos en imágenes, que van pasando por las diferentes capas neuronales, donde la salida de una capa neuronal es la entrada para la siguiente. Una vez se ha obtenido la salida, se ajustan los pesos de las neuronas a través de la red neuronal con un algoritmo conocido como back-propagation. Este algoritmo hace el ajuste mediante iteraciones, hasta minimizar el error [10]. Esto supondrá una ventaja ya que el uso de estos algoritmos permitirá la adaptación a diferentes trajes, tallas y colores.

Para obtener los datos a analizar se creará una esclusa de control, completamente cubierta. En esta esclusa con una cámara y un sistema de iluminación se procederá al análisis del traje EPI. Es decir, se creará un escáner superficial no invasivo para llevar a cabo el análisis del traje EPI.

Primeramente se diseñará un modelo 3D de la esclusa y una vez diseñada y elegidos los componentes más óptimos para la implementación del sistema se procederá a su montaje. Una vez montada se realizarán pruebas con el sistema de la cámara y un traje EPI real, para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

1.3. Objetivos

El principal objetivo del proyecto es asegurar la retirada del EPI, para comprobar que no se encuentra ningún rastro provocado por un fluido o rotura, evitando así el riesgo del contagio. Así, tras un análisis del planteamiento del problema y la revisión de la memoria científica técnica del proyecto HORUS podemos definir unos objetivos más generales, cómo pueden ser:

- Creación de una esclusa que sea de **fácil montaje y adaptable**, de forma que su versatilidad sea uno de los factores principales a la hora de elegirla.
- **Bajo coste** de implementación, para conseguir la accesibilidad a la misma por todos los centros médicos que la requieran.
- **Integración** dentro de las esclusas ya existentes para el análisis de los trajes, de forma que se pueda aprovechar el espacio y diseño del lugar previsto para la retirada del traje.

1.3.1. Objetivos operativos

Los objetivos operativos son aquellos que se deben cumplir a corto plazo con la finalidad del correcto desarrollo del proyecto.

Para ello desglosamos el TFG en varios objetivos operativos:

- Diseño 3D de la esclusa.
- Elección y montaje de la cámara y equipo de iluminación.
- Diseño de la sujección de cámara e iluminación.
- Implementación real de la esclusa.
- Montaje de la cámara y equipo de iluminación.
- Diseño de base rotatoria

1.4. Estructura del documento

En este apartado se describirá brevemente la estructura del documento a fin de conseguir una lectura más sencilla.

- En el capítulo de Introducción, se expone la motivación para la realización del proyecto, así como los objetivos planteados para el mismo y una descripción de general del proyecto HORUS, en el que se encuadra el proyecto presentado.
- En el capítulo de Estado del arte se expone la disposición actual real en el Hospital Universitario La Paz-Carlos III, así como el desarrollo actual de proyectos que pueden ser similares o servir de guía e inspiración a la hora de elegir diseños y materiales, así como se justifica la solución escogida.
- En el capítulo de Gestión del proyecto se expone el marco regulador actual, tanto legal como organizativo, del proyecto, así como se desarrolla el entorno socio-económico del proyecto y se expone y justifica el presupuesto del mismo.
- En el capítulo de Desarrollo se expone el desarrollo que se ha llevado en el proyecto, así como toda la información propiamente perteneciente al mismo.
- En el capítulo de Conclusiones se exponen una conclusión general del proyecto, además de alguna conclusión propia, y una evaluación de los objetivos, y también se incluyen la líneas futuras de desarrollo del proyecto.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo se presenta la realidad de la esclusa de seguridad del Hospital Universitario La Paz-Carlos III y además presentar los proyectos que pueden servir como referencia a la hora de llevar a cabo el proyecto.

2.1. Esclusa de seguridad Hospital Universitario La Paz - Carlos III

El Hospital Universitario La Paz- Carlos III dispone de:

- Puerta de acceso a la Unidad de Aislamiento de Alto Nivel (UAAN), que cuenta con un sistema de control de entradas y registro de personal que accede a la Unidad.
- Zona de colocación de Equipo de Protección Individual (EPI):
 - Recomendable cámara de vídeo.
 - Espejo de cuerpo entero.
- Habitación individual con esclusa de seguridad entre cada habitación y resto de la UAAN.

Actualmente la retirada del EPI como bien se ha presentado en el capítulo de introducción se realiza en la esclusa de seguridad, como bien se puede ver en las imágenes que se muestran a continuación.

En primer lugar a continuación se muestra una vista completa del entorno de inspección para el EPI.

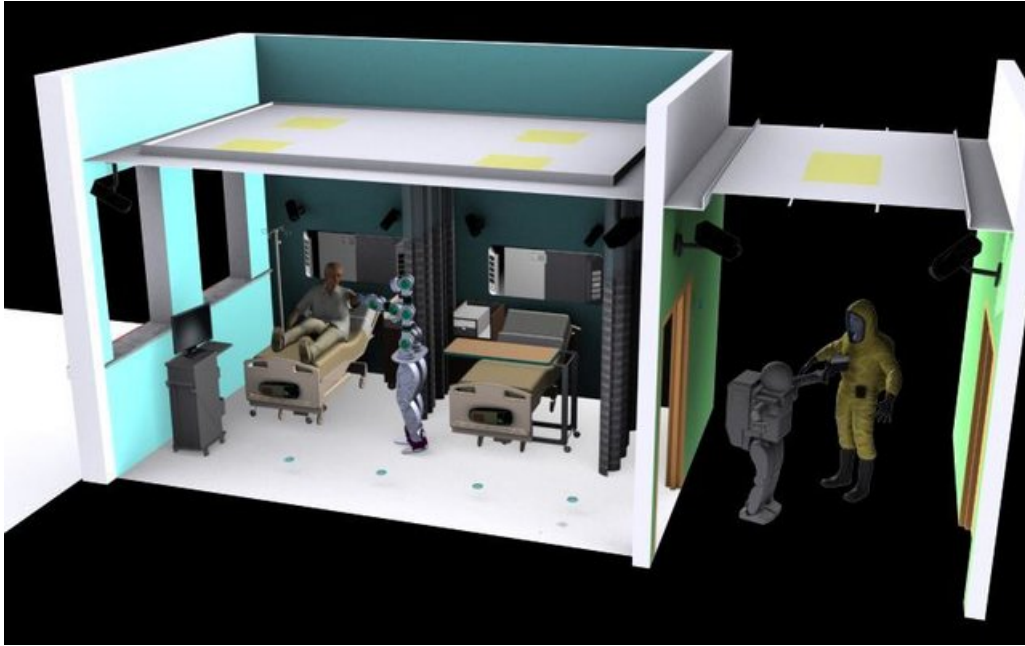


Fig. 2.1. Vista del entorno de inspección para el EPI

Como se puede observar, antes de entrar o salir de la habitación de los pacientes, se encuentra una esclusa, en la cual se realiza la inspección para la correcta puesta o retirada del EPI, es en esa esclusa en la cual se propone la implementación del presente proyecto.



Fig. 2.2. Vista real de la esclusa

A continuación se puede ver el procedimiento real de la retirada del EPI en la esclusa que el hospital Hospital Universitario La Paz-Carlos III tiene dispuesto para ello. En las figuras se puede observar el procedimiento ya descrito en la introducción, que de una forma resumida quedaría representado de izquierda a derecha como una inspección visual

por el observador externo, un análisis realizado por el personal sanitario y retirada del equipo. Como bien se puede apreciar este método resulta muy subjetivo dejando posibles brechas de seguridad que pueden concluir en un contagio en caso de no realizarse de forma correcta o pasando por alto algún resto de fluido.



Fig. 2.3. Procedimiento real de retirada de EPI

2.2. Antecedentes y estado actual

Como se ha comentado se va a exponer los proyectos similares que pueden ser tomados como referencia a la hora de llevar a cabo el proyecto.

Como la idea es crear un escáner no invasivo podemos encontrar diferentes ejemplos de escaneres, como pueden ser los escáneres de cuerpo completo que se utilizan mayoritariamente en aeropuertos y oficinas, así como en juzgados. Además como el objetivo es analizar el EPI, que se trata de un tejido también se va a revisar los sistemas de inspección visual de tejidos.



Fig. 2.4. Ejemplo de escáner de cuerpo completo aeroportuario

Para estos tipos de escáneres se utilizan rayos X de baja intensidad. Entre los escáneres de rayos X encontramos que los más comunmente utilizados son el escáner de ondas milimétricas y el de retrodispersión, también conocido como backscatter [11].

Los escáneres más habituales que encontramos se tratan de escáneres de ondas milimétricas que indican objetos metálicos mediante una señal sonora o visual, y que después vienen seguidos de una inspección por un agente de seguridad. Además ahora se están implementando e instalando unos escáneres en los aeropuertos que directamente muestran en una pantalla la figura de la persona y en caso de llevar algún tipo de objeto metálico el objeto ubicado en el cuerpo se muestra en una pantalla como podemos ver en la figura a continuación. Es un escáner novedoso que utiliza tecnología backscatter, que permite mostrar esos objetos metálicos situados bajo la ropa.

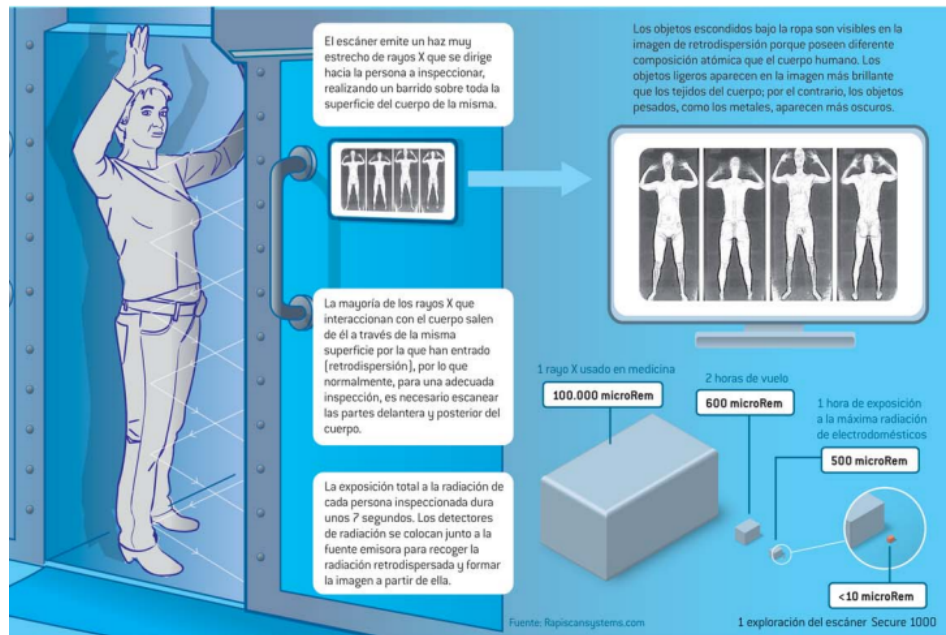


Fig. 2.5. Ejemplo de escáner por backscatter [12]

La principal diferencia que se encuentra con este tipo de escáneres sirven para detectar objetos de debajo de la ropa, no de la superficie y que tienen un coste muy elevado, por lo cual no serían los modelos más adecuados a la hora de la realización del proyecto, ya que no cumpliría con uno de los objetivos que se han propuesto, ya que se busca un bajo coste de implementación. Además no están implementados en todos los países por el debate moral de la privacidad de las personas, pero también se puede confirmar que se trata de un sistema que esta en plena expansión tanto en Europa como en Estados Unidos.

Pero respecto a los escáneres de cuerpo completo los ejemplos más genéricos y conocidos que se pueden encontrar son los que comúnmente se encuentran en los aeropuertos y juzgados, siendo mucho más común los de ondas milimétricas, que son los que se han presentado en primer lugar.

Por otro lado, ya existen estudios sobre la inspección visual de tejidos para la evaluación de telas. Entre ellos se encuentra un método que analiza las imágenes recogida de la tela mediante un filtro gaussiano, utilizando parámetros como pueden ser el material, el hilo o el grosor de la tela, lo que permite detectar defectos como la uniformidad del tejido [13].

Otro estudio que puede resultar interesante es en el que utilizan una red neuronal basada en el reconocimiento de patrones en imágenes. En este se encuentra un sistema que utiliza una red neuronal de tipo perceptrón que tiene como entrada siete momentos estandarizados que vienen de imágenes binarias, lo que ahorra un gran trabajo de procesamiento en las imágenes [14].

Actualmente se puede ver que existen tres sistemas ya implantados de inspección visual, como son Cyclops – Barco visión, I-tex - Elbit visión y Fabriscan – Zellweger Uster. Cada uno de los sistemas aquí propuestos utilizan diferentes métodos de análisis para la detección de errores en las telas [15].



Fig. 2.6. Ejemplo máquina I-Text

Aun que los sistemas de inspección de fallos son capaces de detectar errores complejos, encontramos que solo lo hacen en un tipo de material o tela, lo que permite una mínima capacidad de adaptación, además que no existen sistemas que marquen adecuadamente el patrón y almacenen la información. Tampoco existe ningún sistema capaz de analizar la tela o material una vez puesta.

Además a la hora de escanear se busca un método para analizar el EPI, para lo cual se observan las impresoras 3D. La forma de definir coordenadas y trabajar respecto a tres ejes resulta un método conocido y funcional. Para ello se ha buscado una impresora 3D común, como se puede ver en la siguiente figura, con el movimiento a tres ejes, lo que las permite abarcar un gran grado de precisión. Al estar tan extendido entre la comunidad universitaria podemos comprobar que existe un amplio rango de información acerca tanto de su uso como de su configuración.

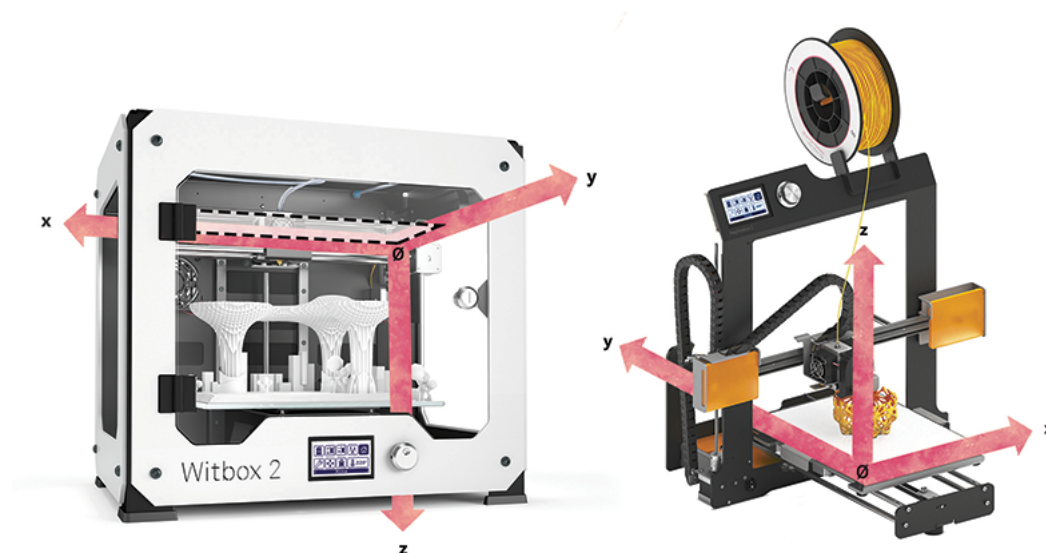


Fig. 2.7. Ejemplo impresora 3D

Otra opción que se plantea a la hora del análisis de los trajes es la posibilidad del acceso de una persona exterior a la esclusa de seguridad ya existente como bien se muestra en la figura 2.1 y se pase a realizar un análisis mediante un sistema de detección de fluidos, como bien puede ser el uso de luz ultravioleta (UV), que es comúnmente utilizada para la detección de fluidos corporales como pueden ser sangre, saliva u orina, ya que esta luz dota de fluorescencia a estos fluidos. En ese caso se podría analizar de la forma que se muestra en la siguiente figura.



Fig. 2.8. Ejemplo de inspección con equipo de UV

Este método recuerda a la inspección que se realiza tras pasar el escáner ubicado en aeropuerto una vez que se ha activado la señal sonora o luminosa indicando un objeto metálico, requiriendo de una persona para realizarlo como se muestra en la figura anterior.

2.3. Justificación de la solución

Una vez analizado el estado del arte se abren varias posibilidades a la hora del diseño para la esclusa de control.

En primer lugar puede ser un espacio en el cual se analice con luz UV, para lo cual tendría que intervenir un tercero dentro de la esclusa para realizar dicho análisis, lo cual plantea diferentes problemas a la hora de lograr mayor seguridad y evitar el riesgo de contagio lo máximo posible. La automatización que se llevaría a cabo sería nula ya que es un proceso muy similar, con mayor equipamiento del proceso que se realiza actualmente, por lo cual esta opción se descarta como posibilidad óptima para el desarrollo del presente proyecto.

En segundo lugar se encuentra la posibilidad de crear un escáner similar a los que podemos encontrar en aeropuertos, como se ha comentado previamente, que ofrecen la posibilidad de automatizar el análisis pero que siguen requiriendo de un tercero para la consecución de los objetivos, pero habría que buscar un método para detectar las manchas o roturas, y en caso de ser así ubicarlas, siendo muy difícil al pasar solo por un pórtico.

Por ultimo y como posibilidad se plantea la utilización de una estructura similar a la que podemos encontrar en una impresora 3D lo que da mucha versatilidad al proyecto, ya que se trata de materiales de bajo coste que pueden adaptarse de forma eficaz para obtener un movimiento versátil. Con esta posibilidad y con la ayuda de los sistemas de inspección visual ya existentes, se puede buscar una combinación entre ambos para la creación de un escáner capaz de analizar la superficie del EPI una vez puesto, creando un escáner no invasivo inspirado en los previamente mencionados.

Por lo cual la solución elegida es la planteada en tercer lugar, mediante la creación de una estructura y utilizando técnicas de inspección visual mediante una cámara. Esta cámara será controlada de forma remota y por medio de un algoritmo, minimizando así el error humano.

Esta solución cumple con los objetivos planteados para el proyecto, como el bajo coste, la adaptabilidad y la integración dentro de las esclusas ya existentes, de forma que se pasa a diseñar siguiendo estos objetivos y la idea inspirada en la última opción planteada.

2.4. Recursos

A continuación se presenta la información correspondiente a los recursos tanto hardware como software que se han utilizado para el desarrollo del proyecto, en lo relativo al software se han utilizado programas de modelado 3D, diseño de circuitos y se ha programado en lenguaje de C, C++ y Arduino. Respecto al hardware en el capítulo de Desarrollo se presentaran por que se han elegido esos elementos así como se justificará la solución.

2.4.1. Software

Para el desarrollo del proyecto se van a utilizar los siguientes programas y herramientas:

- FreeCAD. Se trata de un programa de código abierto de modelado 3D, se basa en el modelado paramétrico de los objetos a diseñar. Permite el modelado de figuras 2D y transformarlas en 3D, así como hacerlo a la inversa. Se trata de un programa multiplataforma, accesible, flexible e integrado.
- KiCad. Es un programa de código abierto para el diseño de circuitos integrados, con una interfaz centrada en la productividad. Además tiene un función que verifica todas las conexiones, para lograr un resultado más eficiente a la hora de realizar la gestión de los circuitos.
- Lenguaje C, C++ y Arduino. El lenguaje C y C++ se trata de un lenguaje de alto nivel, esto quiere decir que las ordenes son similares al lenguaje natural, haciéndolas más fácil de recordar. Tiene como punto a favor la gran cantidad de librerías ya implementadas que encontramos en Internet. Así como por su fácil integración e interacción con los sistemas hardware podemos concluir que son de los lenguajes más apropiados para el desarrollo del proyecto. El lenguaje arduino está basado en el C++ pero que posee muchas funciones propias para el control y análisis de puertos de los microcontroladores.

Todo esto se hace usando la filosofía de RoboticLabs en la cual se apuesta por el software libre y el código abierto.

2.4.2. Hardware

Los recursos hardware que se van a utilizar en el proyecto son los siguientes:

- Cámara, para la realización del análisis del EPI.
- Sistema de iluminación, para el control de las sombras y así evitar cualquier riesgo de la incorrecta detección de una rotura o un rastro de fluido.
- Estructura metálica, para obtener un espacio de trabajo óptimo para la cámara y el sistema de iluminación.
- Impresora 3D, para la impresión de piezas y la integración de todos los sistemas en un único resultado
- Sensores, para el correcto control del sistema.
- Sistema de actuación, para dotar de movilidad al sistema de iluminación y a la cámara.

Capítulo 3

Gestión del proyecto

En este capítulo se realiza un repaso de las fases que ha seguido el proyecto, así como se presenta el marco regulador en el que se encuadra el trabajo de fin de grado (TFG). Además se analiza el entorno socioeconómico del proyecto y se presenta el presupuesto.

3.1. Fases del proyecto

Los proyectos generalmente suelen seguir un mismo esquema a la hora de realizarlos y se puede representar por el siguiente diagrama:



Fig. 3.1. Fases del proyecto

En primer lugar se realiza una **definición del proyecto**, en la cual encontramos el planteamiento del problema y los objetivos que se quieren obtener del mismo. Es una fase inicial en la cual lo más importante es encontrar una necesidad que cubrir o un problema que resolver. En el caso de este TFG se trata de encontrar el problema de seguridad a la hora de la revisión en la retirada del Equipo de Protección Individual (EPI).

Después encontramos la fase de **planteamiento y diseño**, en la cual una vez encontrado el problema o la necesidad se plantean las soluciones al mismo y se plantea un diseño que cumpla los objetivos que se han planteado y obtenido de la identificación del problema. Por lo que se propone realizar una esclusa de seguridad automatizada para evitar posibles riesgos de contagio.

En la **ejecución** es donde toda la parte diseñada se lleva a la realidad, con el planteamiento que se ha realizado. En el caso del proyecto del TFG sería la parte de diseño e implementación de la esclusa, es decir, el montaje de la misma, así como el cableado eléctrico y el montaje de los elementos que serán los que realicen el análisis.

Tras la ejecución se pasa a una fase de **evaluación y control**, en la cual se analizan los fallos de sistema y las posibles mejoras dentro del proyecto para un diseño más óptimo, por lo cual nos llevará de nuevo a la fase de planteamiento y diseño para implementar las posibles mejoras que se hayan observado del proyecto. Este paso será el de líneas futuras, en el que se hará la evaluación del resultado del proyecto y se plantearán mejoras a la hora tanto del diseño como de la implementación.

La fase de **cierre** sería una vez el proyecto estuviese completamente concluido, y sería una fase de realización de la documentación del mismo.

3.2. Marco regulador

Para una solución correcta es imprescindible tener en cuenta la legislación y reglamentos referentes tanto a la investigación como para la actuación en hospitales en casos de enfermedades infecciosas, para definir el proyecto de la mejor manera posible.

3.2.1. Marco legal

Regulación Hospitales

En primer lugar se presentan las leyes y normativas que son aplicables a las Enfermedades Infecciosas y sobre la protección de riesgos laborales en contacto con agentes biológicos.

- Decreto de 26 de julio de 1945 por el que se aprueba el Reglamento para la lucha contra las Enfermedades Infecciosas, Desinfección y Desinsectación.[16]
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. [17]

Artículo 15. Medidas especiales aplicables a los procedimientos industriales, a los laboratorios y a los locales para animales.

ANEXO IV Indicaciones relativas a las medidas de contención y a los niveles de contención

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. [18]
- DIRECTIVA 89/656/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual [19]

TABLA 3.1. ANEXO IV INDICACIONES RELATIVAS A LAS MEDIDAS DE CONTENCIÓN Y A LOS NIVELES DE CONTENCIÓN

A. Medidas de contención	B. Niveles de contención: 4
1. El lugar de trabajo se encontrará separado de toda actividad que se desarrolle en el mismo edificio.	Sí.
El aire introducido y extraído del lugar de trabajo se filtrará mediante la utilización de filtros de alta eficacia para partículas en el aire (HEPA) o de forma similar.	Sí, para la entrada y salida de aire.
Solamente se permitirá el acceso al personal designado.	Sí, con exclusión de aire.
El lugar de trabajo deberá poder precintarse para permitir su desinfección.	Sí.
Procedimientos de desinfección especificados.	Sí.
El lugar de trabajo se mantendrá con una presión negativa respecto a la presión atmosférica.	Sí.
El lugar de trabajo se mantendrá con una presión negativa respecto a la presión atmosférica.	Sí.
Superficies impermeables al agua y de fácil limpieza.	Sí, para el banco de pruebas o mesa de trabajo, el suelo, las paredes y los techos.
Superficies resistentes a ácidos, álcalis, disolventes y desinfectantes.	Sí.
Almacenamiento de seguridad para agentes biológicos.	Sí, almacenamiento.
Se instalará una ventanilla de observación o un dispositivo alternativo en las zonas de manera que se pueda ver a sus ocupantes.	Sí.
Laboratorio con equipo propio.	Sí.
El material infectado, animales incluidos, deberá manejarse en una cabina de seguridad biológica o en un aislador u otra contención apropiada.	Sí.

En esta tabla se puede observar uno de los anexos más relevantes para la realización del TFG ya que es la que dictamina cuáles deben ser las medidas de contención para trabajar con pacientes con alto riesgo de contagio.

En conjunto son leyes y normativas en lo referente al contacto y las medidas de contención para el trato con estas enfermedades con alto riesgo de contagio, en las cuales debe basarse el proyecto para evitar los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos, así como poder para poder ser implementado en los hospitales.

Propiedad Intelectual

En el código de propiedad intelectual, se encuentra una recopilación de las leyes, así como el reglamento referentes a la propiedad intelectual [20]. Además se presenta las normativas vigentes Europeas en referencia al marco legal de la propiedad intelectual, como puede ser la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Toda esta información se encuentra recogida en la Biblioteca de la Universidad Carlos III de Madrid ³.

Existen las siguientes legislaciones aplicables al proyecto:

- Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia [20].
- Directiva 2001/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de mayo de 2001, relativa a la armonización de determinados aspectos de los derechos de autor y derechos afines a los derechos de autor en la sociedad de la información[21].
- Convenio de Berna para la Protección de las Obras Literarias y Artísticas [22]
- Tratado de la OMPI sobre Derecho de Autor (WCT) (1996) [23].

Como sello del TFG se encuentra la licencia de derechos de autor Creative Commons ⁴, que se trata de una licencia que permite un amplio rango de diferentes protecciones y libertades de autores, artistas y educadores, esto nos permite compartir más allá de lo tradicional todos los derechos reservados que establecen las leyes de propiedad individual. Todas las licencias Creative Commons asegura que los autores sean reconocidos al uso de sus trabajos. Dentro de las licencias encontramos seis modelos diferentes que permiten como se ha mencionado diferentes posibilidades de su uso.

³ Biblioteca Universidad Carlos III de Madrid [En línea] Disponible en: <https://www.uc3m.es/biblioteca/propiedad-intelectual> [Accedido en 26/01/2019]

⁴ Creative Commons [En línea] Disponible en <https://es.creativecommons.org/> [Accedido en 26/01/2019]

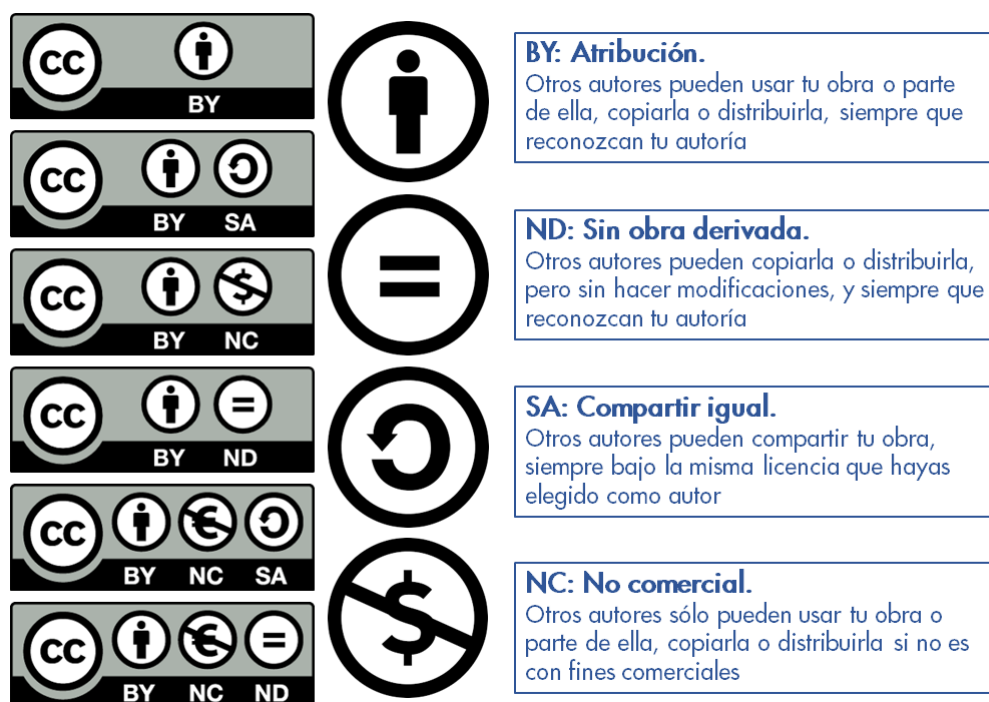


Fig. 3.2. Tipos de licencias Creative Commons [24]

En este TFG encontramos la más restrictiva de las principales ya que sólo permite la descarga de la obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede modificar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

3.2.2. Marco organizativo

El trabajo de fin de grado se trata de una asignatura de 12 créditos (European Credit Transfer and Accumulation System)⁵, que representan las horas de trabajo a realizar por el estudiante.

Estos créditos son una medida académica a nivel europeo, recogida en Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y que establece que un crédito equivale a 25 horas de trabajo. Por lo cual el tiempo total de realización del TFG es de 300 horas.

Además la Universidad Carlos III de Madrid para la presentación y defensa del TFG plantea los siguientes plazos:

⁵ECTS. [En línea] Disponible en: <http://www.eees.es/es/ects> [Accedido en 09/11/2018]

TABLA 3.2. PLAZOS DE LA PRIMERA CONVOCATORIA DEL TFG.
MARZO 2019.

Fases	Plazos
Solicitud de Defensa	18 al 28 de Enero
Publicación Listado	18 de Febrero
Entrega de Memoria	19 al 21 de Febrero
Entrega autorización publicación Memoria	19 al 26 de Febrero
Sesión de Defensa	4 al 15 de Marzo
Calificación	29 de Marzo

Además en el reglamento de organización de la asignatura trabajo fin de grado en el grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática de la Escuela Politécnica Superior, aprobada por el Consejo de Gobierno en sesión de 17 de junio de 2010 [25] muestra que se debe cumplimentar la siguiente información:

- Título del TFG: Desarrollo e implementación de esclusa para la inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario
- Modalidad: específico
- Tipo del TFG: interno
- Titulación de los alumnos solicitantes: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
- Nombre del tutor: Juan Carlos Gonzalez Victores

Para la organización interna tanto del proyecto en el cual se encuadra este TFG así como la organización del TFG se ha utilizado un diagrama de Gantt, que se trata de una herramienta para la planificación de tareas a lo largo de un período determinado y que permite realizar un control sencillo del progreso de las tareas.

En el proyecto de “Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola” (HORUS), se encuentra el diagrama de Gantt que se presenta a continuación del desarrollo del proyecto.

TABLA 3.3. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO HORUS

Objetivo	Tareas	T1	T2	T3	T4	T5
Inspección automática de trajes en antesalas sensorizadas	Selección del sistema de visión					
	Desarrollo de los algoritmos de inspección					
	Desarrollo del escáner					
	Puesta a punto y pruebas					

Como podemos observar en el diagrama la inspección automática de trajes en antesala sensorizada lleva los cinco trimestres del proyecto. Dentro de ese tiempo mi TFG se en-

global en el Desarrollo del escáner y la puesta a punto, dejando un total de tres trimestres para la realización del mismo.

Mi participación ha sido de dos trimestres dentro del proyecto, correspondientes al diseño y la implementación como bien especifica el título del presente TFG. A continuación se muestra el diagrama de Gantt para mostrar la distribución de tiempos para lograr los objetivos operativos del proyecto.

TABLA 3.4. DIAGRAMA DE GANTT DEL TFG

Objetivo	Junio	Julio	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Diseño 3D de la esclusa							
Elección de la cámara y equipo de iluminación							
Diseño de la sujeción de cámara e iluminación							
Implementación real de la esclusa							
Montaje de la cámara y equipo de iluminación							
Diseño de base rotatoria							
Memoria							

Además de los objetivos operativos se ha añadido la memoria por la necesidad de reflejar de forma escrita el desarrollo del TFG, para su documentación y posterior integración en la memoria general del proyecto.

3.3. Entorno socio-económico

3.3.1. Impacto social

Como impacto social se plantea el análisis de cual es el resultado que nos va a suponer en la comunidad el proyecto qué se presenta.

Actualmente el desarrollo de tecnologías software y hardware en áreas como son la educación, salud y seguridad contribuyen a la mejora de la calidad de vida de las personas y al desarrollo hacia una sociedad más segura.

Más el desarrollo tan creciente que se ha ido dando puede llevar hasta un punto de deshumanización de las tecnologías, y ahí se encuentra el conflicto ético de la mayoría de avances tecnológicos. Más en casos como el que se plantea un riesgo de exposición,

como es en el caso de este proyecto, este conflicto ético de deshumanización se vuelve a favor del mismo ya que es ese el factor decisivo para su elección ya que el riesgo en la persona que lleva a cabo el proceso se reduce, siendo un factor claramente positivo.

Esto nos revierte en un impacto social alto, en primer lugar supone un acercamiento de la tecnología a nivel social, así como una forma de ver de forma práctica las aplicaciones de la misma en el mundo real. Además, se trata de un proyecto que crea la posibilidad de evitar la mayor parte de contagios a personal médico que atiende a pacientes con alto riesgo de contagio, lo que supone un avance social muy positivo, al tratarse de una revisión imparcial y metódica que elimina el error humano. Y el planteamiento de uno de sus objetivos es lo que hace destacar el proyecto como social como es el bajo coste de implementación, haciendo posible su desarrollo en los países más afectados por brotes epidémicos, como pueden ser El Congo, Nueva Guinea o Sierra Leona⁶.

3.3.2. Impacto económico

Como impacto económico se plantea el análisis de cual es el resultado que nos va a suponer en la economía el proyecto, en este caso se trata de un proyecto interno de la Universidad Carlos III de Madrid por lo cual el análisis que se realiza es también interno.

Para concretar el análisis económico se expone a continuación un análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO), que es un herramienta que se utiliza para abordar la situación del proyecto. Con esta herramienta analizamos tanto sus características internas como externas. Dentro de las internas encontramos las fortalezas y debilidades, así como en las externas encontramos las oportunidades y amenazas. El objetivo del DAFO es conseguir reunir la información sobre el proyecto para tener una idea de las exigencias del mercado. Los elementos que se analizan en el DAFO son los siguientes:

- Debilidades. Son los puntos débiles. Es todo aquello que limite la capacidad del proyecto.
- Amenazas. Son los elementos externos que pueden afectar de forma negativa al proyecto.
- Fortalezas. Son los puntos fuertes. Son ventajas externas que refuerzan el proyecto.
- Oportunidades. Son las ventajas competitivas del proyecto.

Tras conocer que es el análisis DAFO pasamos a su realización como queda representada en la siguiente tabla.

⁶Países afectados por brotes epidémicos [En línea] Disponible en <https://www.who.int/csr/don/es/> [Accedido en 09/11/2018]

TABLA 3.5. ANÁLISIS DAFO

DEBILIDADES: Falta de tecnologías aplicables Instalaciones obsoletas Dificultad de acceso a los canales de distribución	FORTALEZAS: Estructura flexible y adaptable a los cambios Personal formado Alta motivación del personal
AMENAZAS: Legislación restrictiva Iniciativas privadas que suponen una alternativa a nuestro servicio Tecnología muy cambiante	OPORTUNIDADES: Política gubernamental de apoyo a proyectos de este tipo Sector de proveedores con alta capacidad de innovación

Tras este análisis DAFO se pueden extraer unas conclusiones como pueden ser la necesidad del desarrollo de la tecnología aplicable al proyecto, que puede ser impulsado por la formación del personal así como su motivación. Además, este desarrollo revertirá directamente en las instalaciones, viéndose también favorecidas por la flexibilidad que ofrece el proyecto. Por otro lado, las amenazas no pueden ser resultados más que lidiando con sus consecuencias y tratando de aprovechar las oportunidades que presenta el proyecto. Esto resuelve el análisis económico como favorable, a pesar de no ser un proyecto dedicado a su comercialización, ya que se trata de una colaboración. Para llegar a una conclusión más allá de las presentadas tendría que hacerse un estudio de viabilidad. Más una vez se presente el presupuesto se estudiará la viabilidad del proyecto.

3.3.3. Impacto ambiental

Como impacto ambiental directo del proyecto y dado que se alimenta mediante una corriente de red se encuentra el gasto energético del circuito. Para poder llegar a una conclusión sobre el impacto ambiental de ese gasto energético hace falta hacer referencia a la producción eléctrica en España⁷, que permite observar que alrededor del 70 % de producción eléctrica generada viene de energías no renovables. A pesar de esta afirmación, el consumo que realiza el proyecto que se presenta es bastante bajo, por lo que no nos sirve para dictaminar el impacto total ambiental del proyecto.

⁷Red Eléctrica de España (REE) [Accedido en 17/01/19] <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total>

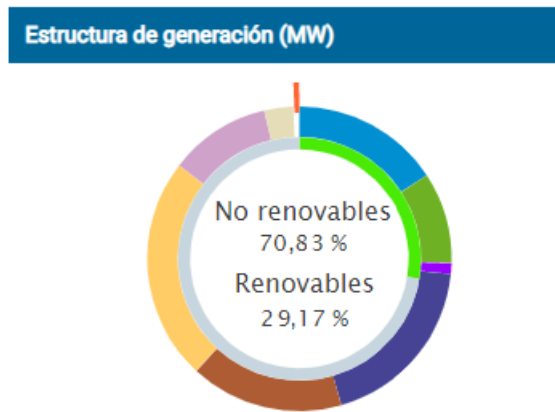


Fig. 3.3. Producción eléctrica en España[26].

Dentro del impacto ambiental que puede llegar a tener un proyecto este se trata de uno bastante respetuoso con el medio ambiente ya que no emite gases contaminantes, así como en el momento de su desmontaje se puede realizar un proceso de reutilización y reciclaje de los elementos que lo componen. Esto deja en un impacto ambiental medio bajo al proyecto, siempre que se realice una vez finalizado la labor de reutilización y reciclaje.

3.4. Presupuesto

A continuación se presentan los costes totales del proyecto. El presupuesto se encuentra desglosado en el Anexo A.

Dentro de los costes totales del proyecto existen dos grandes bloques diferenciados, los directos y los indirectos. Los gastos directos son aquellos que se pueden asignar directamente con un producto o servicio, mientras que los gastos indirectos son aquellos que afectan al proyecto en su ciclo de vida, es decir que no se puede asignar directamente.

6.- Resumen de costes	
Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales
Personal	7.800
Amortización	2.658
Subcontratación de tareas	0
Costes de funcionamiento	713
Costes Indirectos	2.234
Total	13.405

Fig. 3.4. Resumen de costes totales

Dentro de los costes directos del proyecto se encuentra en primer lugar el coste de personal, siendo la partida que se lleva más de la mitad del presupuesto total, esto se debe a la alta cualificación de los participantes en el proyecto.

Tras esto esta la partida de equipos es la más dinero destinado tiene, siendo fundamental para el correcto desarrollo del proyecto. Cabe destacar la diferencia entre los equipos

que se han comprado específicamente para el proyecto y los que se han utilizado de forma puntual en el mismo, como se puede observar en los porcentajes de utilización en el Anexo A. Además se puede apreciar que a todos los precios se les ha aplicado la tasa de amortización, obteniendo como resultado el coste imputable.

Esta fórmula responde a

$$Amortizacion = \frac{A}{B} * C * D \quad (3.1)$$

Donde

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado

B = periodo de depreciación (15 meses)

C = coste del equipo (sin IVA)

D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100 %)

Con este presupuesto se obtiene la conclusión de el proyecto es asumible y que por lo tanto cumple con el objetivo de bajo coste de implementación ya que en sí el gasto en materiales no llega a los 3.000 €. Como referencia se puede comprobar que el presupuesto asignado a un proyecto como este ronda los 100.000 €, mientras que este queda por debajo de los 20.000 € en total.

Los costes indirectos se estiman como un porcentaje del 20 % del total de los costes directos, ya que son gastos no detallados pero necesarios para el desarrollo del proyecto. Que no tienen la necesidad de aportar justificante de gasto [27].

Por lo tanto y tras analizar los costes totales se llega a la conclusión de que el proyecto es viable.

Capítulo 4

Desarrollo

En este capítulo se presentan y justifican las decisiones, así como los diseños tomadas para para la consecución de los objetivos del trabajo de fin de grado (TFG).

4.1. Estructura mecánica

A continuación se presenta el modelado 3D que se ha relizado del sistema y en el cual se muestra el desarrollo que se ha seguido a la hora del mismo. Este no ha sido lineal y como se presenta ha sido dependiente de decisiones tomadas en el apartado de Electrónica y control. Además se desarrolla la opción de añadir la plataforma giratoria, para facilitar el análisis de Equipo de Protección Individual (EPI).

4.1.1. Modelado 3D

En primer lugar se ha realizado un modelado 3D del sistema, este ha sido muy básico y solo con los elementos principales, como la estructura y raíles para el movimiento, como se puede apreciar en la figura 4.1:

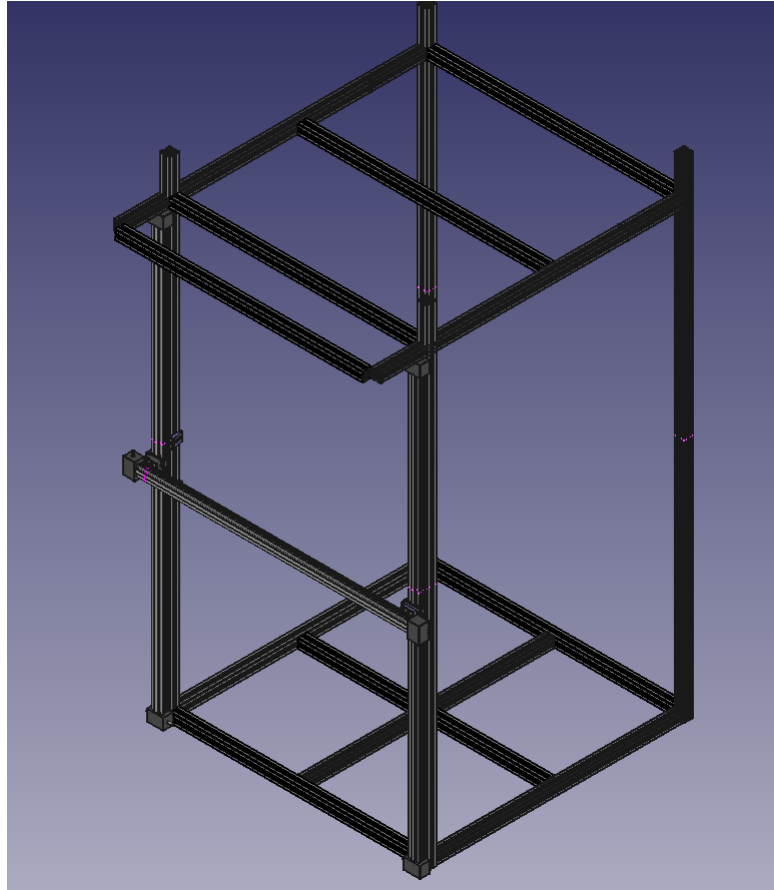


Fig. 4.1. Modelo 3D: Estructura

Cabe apreciar el detalle de los raíles que se han añadido de forma que a la hora del diseño de piezas la estructura modelada sea lo más similar posible a la real, para evitar errores de tamaños, por ejemplo:

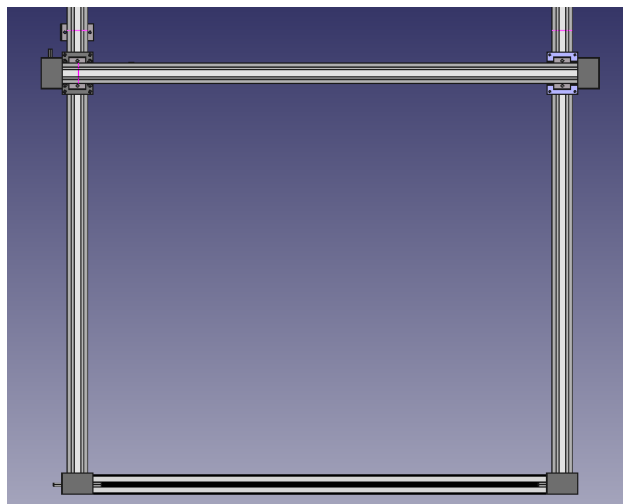


Fig. 4.2. Modelo 3D: Raíles

Además, como se puede ver en la figura 4.3 y 4.4, se ha añadido la cadeneta portacables y dos elementos de sujeción, uno en el suelo para la tarjeta de arduino y RAMPS

1.4, como otro para pasar los cables al eje X, fijado en el raíl, de forma que sirve como unión entre la cadeneta lateral con la frontal:

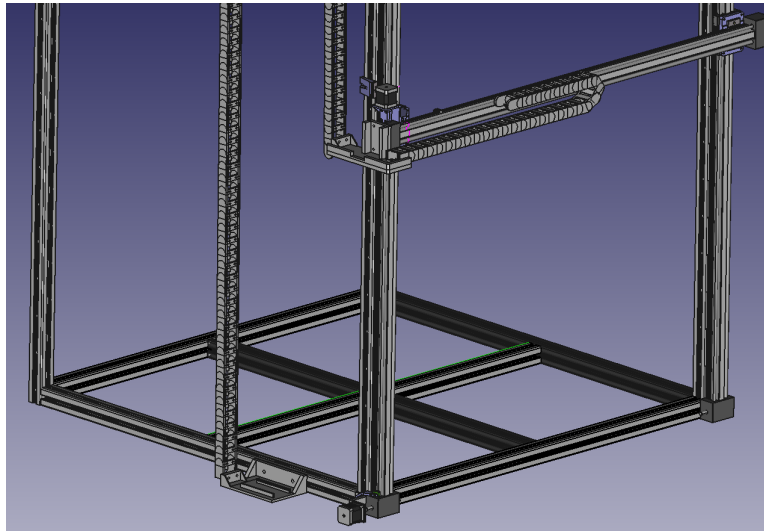


Fig. 4.3. Modelo 3D: Estructura del cableado

Se definen las dimensiones generales, tales como dos metros de altura en el eje Z y un metro veinte centímetros de base, tanto en el eje X como en el Y. A continuación, se eligen los actuadores como se puede ver en el apartado de “Justificación de los actuadores”, para ello se definen tanto los actuadores como los sensores necesarios para una implementación correcta del sistema. Las figuras 4.4 y 4.5 muestran como se añade al modelo 3D:

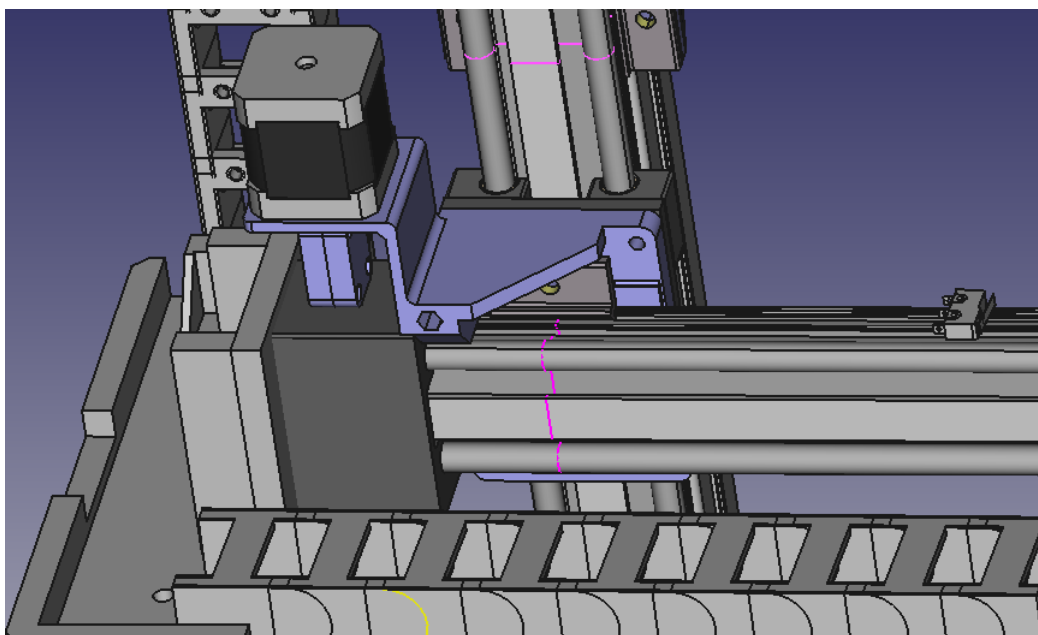


Fig. 4.4. Modelo 3D: Actuadores y sensores eje X

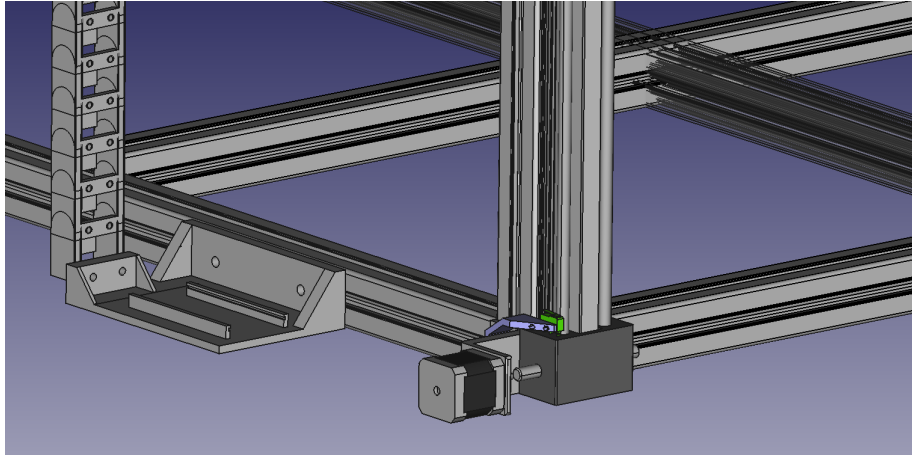


Fig. 4.5. Modelo 3D: Actuadores y sensores eje Z

En las figuras anteriores se puede apreciar en detalle el modelado que se ha realizado tanto de los motores como de los sensores final de carrera que se han implementado en el sistema.

Además se ha añadido al modelado tanto la cámara como los focos, que se justifican en “Cámara e iluminación”, para una mejor comprensión del sistema general, así como las piezas necesarias para la sujeción tanto de la cámara en los raíles como de los focos a la cámara, como se muestra en la figura 4.6:

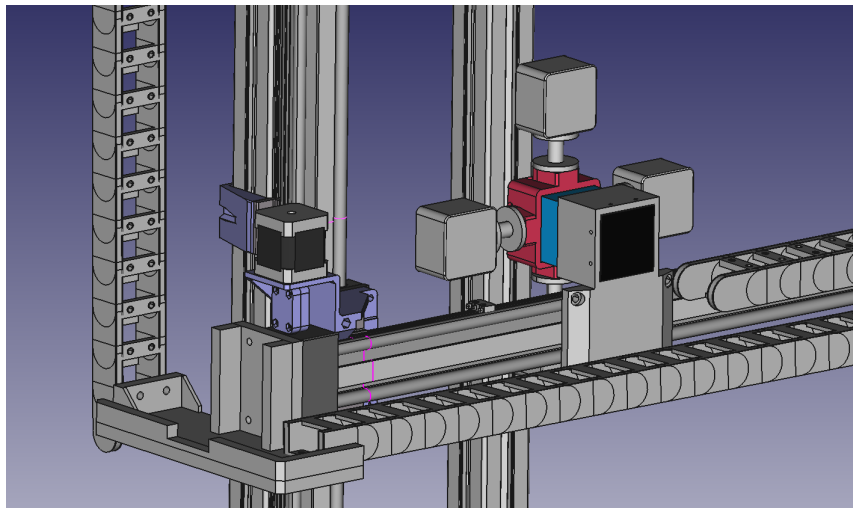


Fig. 4.6. Modelo 3D: Cámara y focos

Así queda concluido todo el modelado 3D que se plantea de la esclusa de seguridad. Lo que permite comprender de forma general el desarrollo que se ha llevado en la implementación del modelo real.

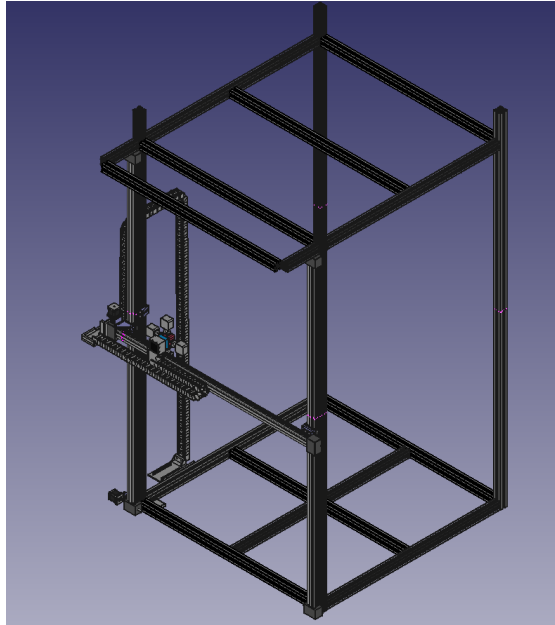


Fig. 4.7. Modelo 3D completo

Además añadir el resultado final de los prototipos previamente modelados, como se muestra en las siguientes figuras. Ya que una vez hecho el modelado se ha llevado a cabo la estructura, así como el montaje de los diferentes elementos que se presentan en el presente capítulo.



Fig. 4.8. Estructura real completa

Como se puede ver en la figura anterior la estructura una vez montada se ha cubierto con un lona opaca negra para el control de luminosidad y de sombras como bien se comenta en el apartado de “Cámara e iluminación”. Además se ha colocado un maniquí para realizar pruebas, ya que además de la esclusa se está diseñando un sistema mediante inteligencia artificial para detectar las posibles manchas o roturas en el proyecto “Inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario de pacientes en aislamiento de alto nivel, incluido el Ébola” (HORUS).

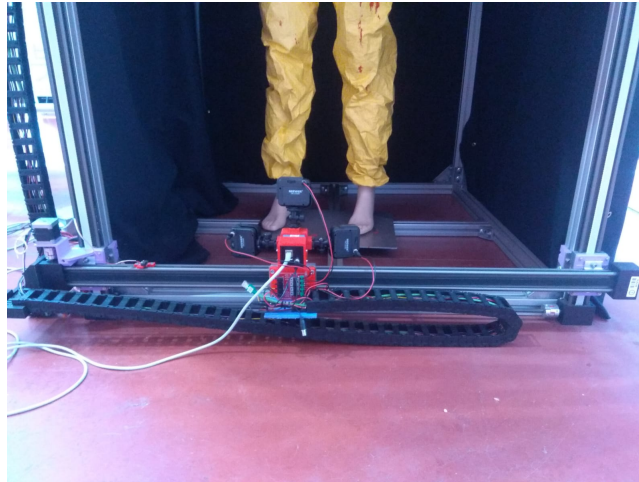


Fig. 4.9. Estructura real: Detalle parte frontal

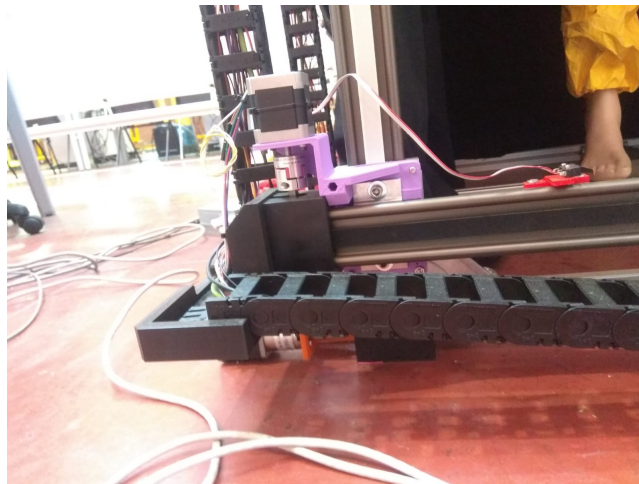


Fig. 4.10. Estructura real: Detalle actuadores eje X

De esta forma queda concluido el diseño y la implementación de la esclusa de seguridad con todos los elementos que se justifican en los siguientes apartados.

4.1.2. Plataforma giratoria

Para realizar el análisis del EPI, y una vez desarrollado e implementado lo presentado anteriormente se plantea la necesidad de analizar de forma completa el equipo una vez situado en el interior de la esclusa. Para ello se presenta la propuesta de una plataforma

giratoria automática, de forma que el movimiento de la persona de la cual se realiza el análisis sea mínimo, para en caso de rotura el peligro de contagio se reduzca al mínimo.

Se encuentran dos posibilidades, el comprar una plataforma giratoria automática, de forma que solo haya que realizar el control de la misma una vez instalada o desarrollar una propia.

Las especificaciones para la plataforma son:

- Debe soportar al menos 100 kg.
- Debe poderse controlar la dirección de giro.
- Debe poderse controlar la velocidad de giro.

Como opción viable comercial encontramos una plataforma giratoria que soporta hasta 100kg, su alimentación es directamente de la red, con tres velocidades ajustables y control mediante un mando a distancia.



Fig. 4.11. Plataforma giratoria comercial

Esta plataforma plantea el problema de su control, ya para integrarlo dentro del sistema habrá que realizar lógica inversa, ya que viene controlado por mando a distancia. El modelo es Jousoir Iz004.

Otra opción que se plantea es la de el desarrollo de la plataforma giratoria, con una base de rodamientos que soporta hasta 100kg, un diseño de la base y un motor NEMA 17, como se utiliza para el movimiento lineal del sistema de focos y cámara.

De forma que la base giratoria se anclaría a la cruz en la base de la esclusa. El modelo que se ha elegido es Cablematic PN18071409392921982.



Fig. 4.12. Base giratoria: Rodamiento

Una vez instalada la base giratoria y con la siguiente propuesta de diseño se montaría la pieza que servirá para transmitir el movimiento y de base para la persona.

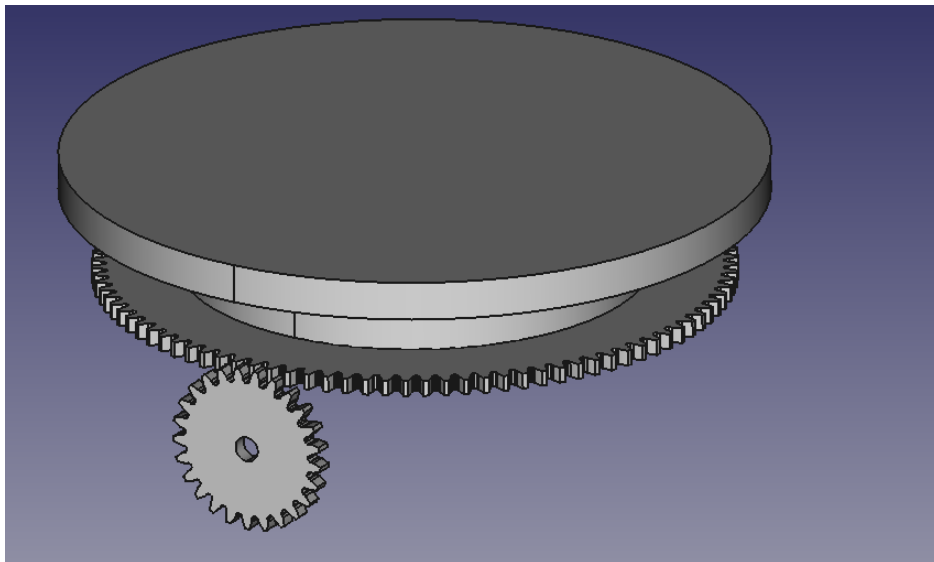


Fig. 4.13. Base giratoria: Engranajes

Respecto al control de la misma al utilizarse un motor paso a paso se puede utilizar la RAMPS 1.4 para su control y realizar el mismo en arduino.

TABLA 4.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA BASE GIRATORIA COMERCIAL VS PROPIA.

	Precio	Ventajas	Desventajas
Comercial	300€	No necesita más que la instalación Inmediatez	Control complicado Precio más elevado Diseño estático
Propio	120€	Control sencillo Menor precio Diseño adaptable a las necesidades	Montaje difícil Errores inesperados Mayor tiempo invertido

La decisión de la compra o desarrollo se tomará en función del análisis previamente desarrollado, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que presenta cada posibilidad.

4.2. Electrónica y control

A continuación se detallan todas las decisiones y elección de equipos que componen tanto la electrónica como el control del TFG.

4.2.1. Justificación de los actuadores

Para el movimiento de la cámara y el conjunto de focos se presenta la necesidad de un motor, para lo cual se presentan los diferentes tipos de motores:

- Motores de corriente continua (CC). Para su funcionamiento la bobina del rotor recibe alimentación generando así un par de giro. La bobina del rotor corta las líneas del campo magnético generadas por el estator, lo que provoca que se induzca en el bobinado del rotor una fuerza electromagnética. Para el control de la velocidad de giro encontramos la siguiente formula:

$$N = \frac{V_{ind} - r_{ind} * I_{ind}}{*} K_1 \phi \quad (4.1)$$

Siendo

$$K_1 = n \frac{P}{60 * a} \quad (4.2)$$

Donde

N es la velocidad de giro del inducido (rpm),

V_{ind} es en voltaje inducido (V),

r_{ind} es la resistencia del inducido ,

I_{ind} es la intensidad del inducido,

P es el número de pares de polos,

a son los pares de circuitos del inducido,

ϕ es el flujo por polo (Wb).

Como se aprecia tras estudiar las ecuaciones planteadas (ec. 4.1 y ec. 4.2), el control de la velocidad de giro resulta bastante complicado de realizar.

- **Servo motor.** Se trata de un modelo de motor CC con características de control de posición. En este caso existen dos tipos: Rango de giro limitado (hasta 180°) y rotación continua (hasta 360°).

Así los servomotores requieren de una señal modulada tipo PWM para el funcionamiento del circuito de control interno, un ancho de pulso mayor de la señal ubica el motor en un ángulo mayor y viceversa.

Para lograr el control de posición se ha de modular la señal PWM lo que aumenta la dificultad a la hora de operar con dichos motores.

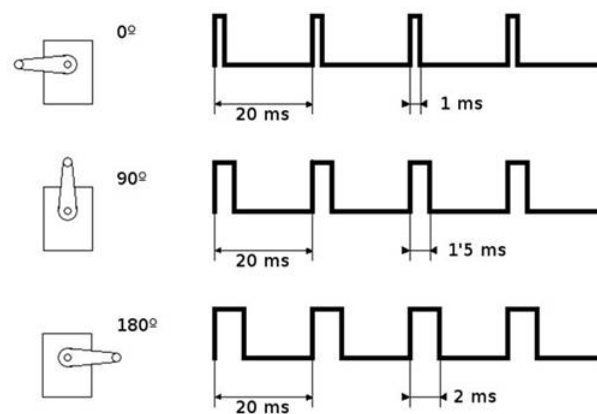


Fig. 4.14. Ejemplo de funcionamiento servomotor [28]

Además su funcionamiento suele llevar hasta un ángulo determinado y detenerse en ese punto, por lo cual no es muy adecuado para un movimiento constante, a pesar de poder lograr una gran precisión.

- **Motor paso a paso.** Se trata de otro modelo de motor CC. Se trata de un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. Esto permite posicionar los motores con mucha precisión con un sencillo control digital. Como beneficio además se encuentra que este tipo de motores da un máximo par motor a bajas velocidades mientras que un motor CC convencional tiene muy poco par a baja revoluciones.

Por otro lado como inconveniente para mantener el motor clavado en una posición hay que mantener excitada al menos una de las bobinas, por lo cual consume en parado tanto o más que en marcha y a diferencia de los servos, los motores paso

a paso no tiene un modo de saber dónde está cuando arrancas ,lo que supone que solemos necesitar con ellos algún tipo de fin de carrera para saber dónde está el cero o el tope, aunque luego el posicionamiento es perfecto.

Conclusión

En conclusión y por las necesidades que se plantean del proyecto como es el rango de trabajo de la cámara que necesita de bastante par en movimientos pequeños se concluye que el tipo de motor que se adapta mejor a las necesidades es el motor paso a paso.

TABLA 4.2. COMPARATIVA MOTORES PASO A PASO

Modelo	Par motor (Kg·cm)	Pasos por vuelta	Precio
BRS2571A240	6.2	200	37.75
BRS2423A150	4.2	200	28.56
Bipolar NEMA 17	3.2	200	17.90
NEMA 23	9	200	37.90
NEMA 16	2.3	200	20.00
NEMA 17	5.2	200	30.00

Así para comprender el par motor y lo que implica viene dado por la siguiente formula:

$$T = F * d(N * m) \quad (4.3)$$

Siendo

T el par motor

F la fuerza aplicada (N)

d la distancia a la que se aplica (m)

Además para obtener la medida en kg cm se conoce la equivalencia entre $N * cm$ y $kg * cm$,

$$N = \frac{Kg * m}{s^2} \quad (4.4)$$

De aquí obtenemos, que la relación es

$$1N * m = 0,0980kg * cm \quad (4.5)$$

Para decidir que motor paso a paso es el más adecuado, se tiene en cuenta tanto el par motor como el precio, ya que se ha comprado que la mayoría tienen 200 pasos por vuelta. Teniendo en cuenta que el par que va a necesitar la estructura no es muy elevado se presenta como una buena solución tanto el NEMA 17 como el BRS2423A150. Pero finalmente por precio se decide el NEMA 17, ya que no es necesario tanto par como el que

aporta BRS2423A150 y en cuanto al precio resulta más asequible el NEMA 17, además de estar disponible en multitud de plataformas de compra online.

Por lo cual se decide para el eje X, el motor NEMA 17, un motor paso a paso bipolar, con 200 pasos por vuelta y con dos bobinas de 1.2 A a 4 V y una resistencia de 3.3 Ohm por bobina. Y con un par motor de $3.2 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

Mientras que el eje Z al necesitar mayor par para el movimiento se busca un motor que sea del mismo modelo del anterior, para facilitar el control del mismo y se encuentra otro NEMA 17, bipolar, con 200 pasos por vuelta, pero las bobinas soportan hasta 1.68 A a 2.8 V, con una resistencia de 1.65 Ohm por bobina. Y con un par motor de $5.2 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

Los modelos definitivos se pueden encontrar en el anexo B, lista de material(BOM).

Alimentación de los actuadores

Para el correcto funcionamiento de los actuadores tales como los motores encargados del movimiento de la cámara tanto en el eje X como en el eje Z, así como alimentar el conjunto de los focos se necesita una fuente de alimentación que transforme de 220 VAC, los que se obtienen de cualquier enchufe de la red eléctrica a 12VCC.

Se utiliza una fuente de alimentación HIPRO modelo HP-D250AA0, con una entrada de 220V/3.15A, y con un total de cinco posibles salidas, de las que utilizaremos las salidas de 12 V, 5V y 3.3V. Además la potencia máxima de salida es de 250W, que es más que suficiente para la alimentación de los diferentes sistemas como son los motores, los focos y los sensores final de carrera.

Se trata de una fuente de alimentación ACDC, que nos permite transformar la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua para nuestro circuito.

Sensores final de carrera

Para evitar posibles choques con la estructura así como con el suelo se utilizan sensores final de carrera mecánicos, cuyo funcionamiento es similar al de un interruptor que manda una señal cuando el circuito se abre, ya que funciona como un pulsador normalmente cerrado (NC), debido a la configuración que se le ha dado en el montaje.

Esto deja al sistema utilizando lógica inversa, la cual es más segura ya que no solo por el accionamiento del final de carrera puede dejar de funcionar, si no que en caso de desconectarse también forzaría la detención evitando riesgos al sistema de la cámara y los focos.

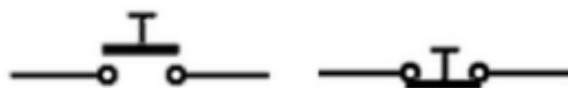


Fig. 4.15. Modos de funcionamiento : NA vs NC

Sería el caso que se puede observar en la figura anterior.

Movimiento lineal

Para transformar el movimiento circular del motor en movimiento lineal se utiliza el siguiente sistema implementado por igus.

Se utiliza un sistema de acomplamiento, que se trata de un elemento elástico que evita el tensado entre los componentes.



Fig. 4.16. Acoplador

Para ello se utiliza el COU-AR-K-050-080-25-26-B-AAAA de igus, además conecta entre el motor y los raíles transmitiendo el par generado por el motor.

Además para el movimiento lineal se utiliza además los raíles de igus, como se muestra en la siguiente figura, para el movimiento tanto en el eje Z como en el eje X.



Fig. 4.17. Movimiento circular a movimiento lineal

Para ello se utilizan, en el eje Z, dos raíles de 2000mm, del modelo ZLW-1040-02-S-100-L/R y para el movimiento del único raíl de eje X se utiliza el modelo ZLW-1040-02-B-100-L.

Estos raíles se utilizan junto con los motores y los acopladores para dar el movimiento tanto en al eje Z como en al eje X.

4.2.2. Control

Para el control del sistema se utilizó una placa ARDUINO MEGA 2560, que se trata de una tarjeta de desarrollo construida con un microcontrolador ATMEGA 2560, cuenta con 54 E/S digitales de las cuales 14 pueden utilizarse como salidas PWM y 16 entradas analógicas. Se utiliza ARDUINO ya que es parte del Open Source, que se trata de una

modalidad de desarrollo software que destaca por el acceso al código fuente, permitiendo modificar y compartir diferentes partes de código.



Fig. 4.18. ARDUINO MEGA 2560

Además se utiliza la placa RAMPS 1.4, que se trata de una extensión de arduino para ser utilizada como adaptador entre la tarjeta de desarrollo y los driver (adaptadores de potencia).

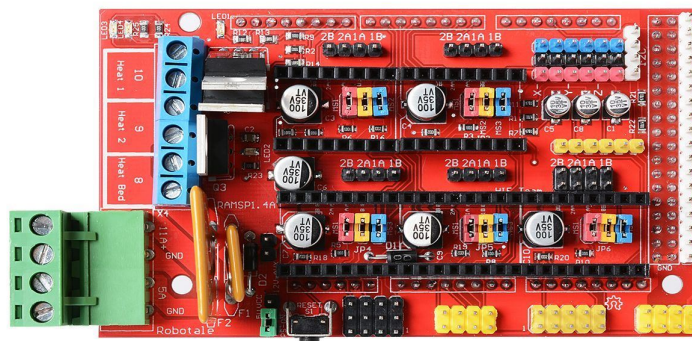


Fig. 4.19. RAMPS 1.4

La placa RAMPS 1.4 presenta las siguientes características:

- Compatible con Arduino Mega 2560
- Alimentación: 12 V
- Conexión hasta 5 motores paso a paso y sus drivers

Además como driver se utilizan dos pololus DRV8825, para el control de los dispositivos periféricos como son los motores.

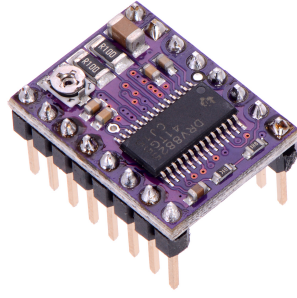


Fig. 4.20. Pololu DRV8825

Estos drivers constan de las siguientes características:

- Voltaje operativo mínimo: 8.2 V.
- Voltaje operativo máximo: 45 V.
- Corriente máxima por fase: 2.2 A.
- Corriente continua por fase: 1.5 A.
- Resolución de microstep: Completo, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, and 1/32.

4.2.3. Esquema eléctrico

Respecto a la parte electrónica del proyecto lo primero que se presenta es el esquema eléctrico y electrónico del mismo, que podemos ver en el Anexo C. En este anexo se encuentra desarrollado las conexiones de forma esquemática, así como en este punto se hace un breve repaso de las cosas más importantes y a tener en cuenta.

Como ya se ha presentado en el apartado anterior el control se realiza por un placa de desarrollo arduino, pero el conexionado se realiza en la placa RAMPS 1.4 como se muestra a continuación.

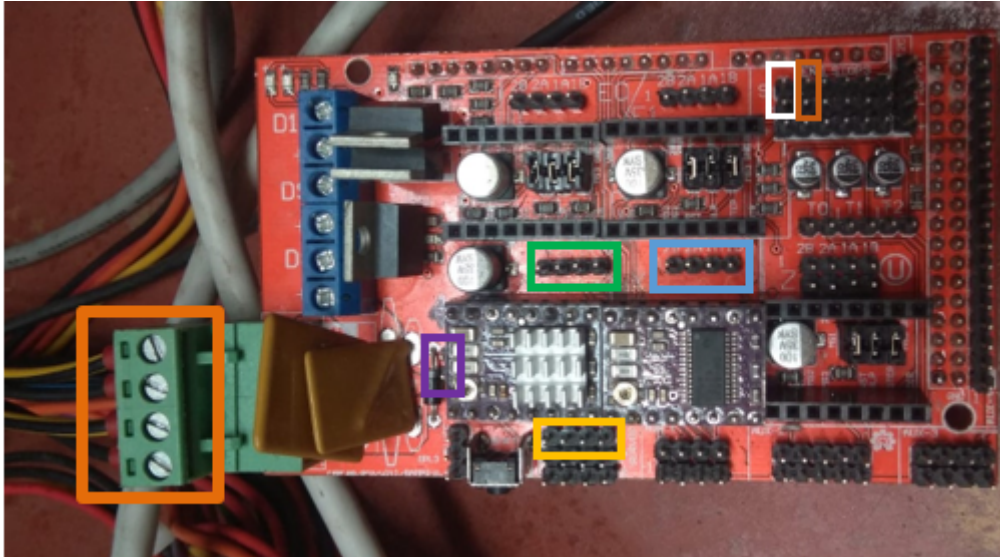


Fig. 4.21. Conexionado en placa RAMPS 1.4

- Blanco: Fin de carrera del eje Y.
- Marrón: Fin de carrera del eje X.
- Morado: Ventilador.
- Amarillo: Control placa MOSFET4, que a su vez controla la iluminación.
- Azul: Motor eje X.
- Verde: Motor eje Y.
- Naranja: Alimentación.

Que de forma aplicada a la realidad quedaría de la forma que se muestra a continuación. El montaje de los cables se representan en la siguiente figura, en la cual se puede apreciar tanto el conexionado eléctrico como electrónico.

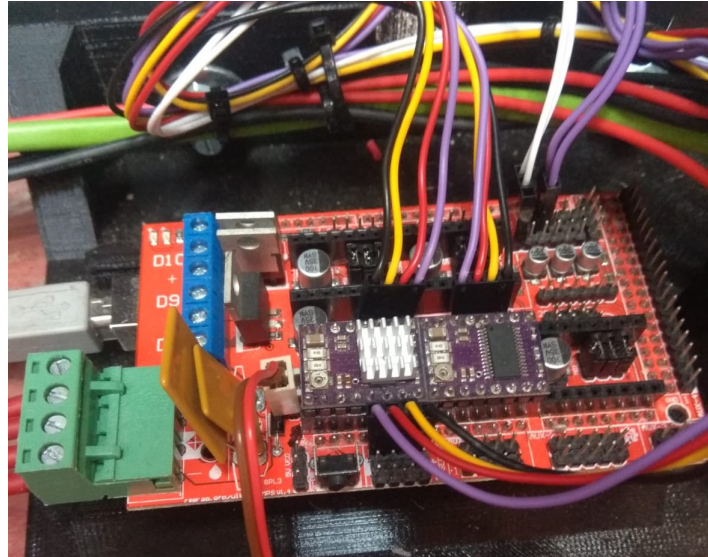


Fig. 4.22. Conexionado real en placa RAMPS 1.4

Además para el control de la iluminación se utiliza una placa MOSFET 4, que se utiliza como un interruptor digital controlado por arduino, de forma que se pueden encender y apagar cada uno de los focos de forma independiente, siendo fundamental para el control de sombras.



Fig. 4.23. Conexionado en placa MOSFET4

- Azul: Alimentación.
- Blanco: Foco abajo.
- Morado: Foco derecha.
- Negro: Foco arriba.
- Amarillo: Foco abajo.
- Verde: Conexionado para el control mediante la RAMPS 1.4.

Así como en la siguiente figura se puede ver la forma que queda el conexionado real de la placa.

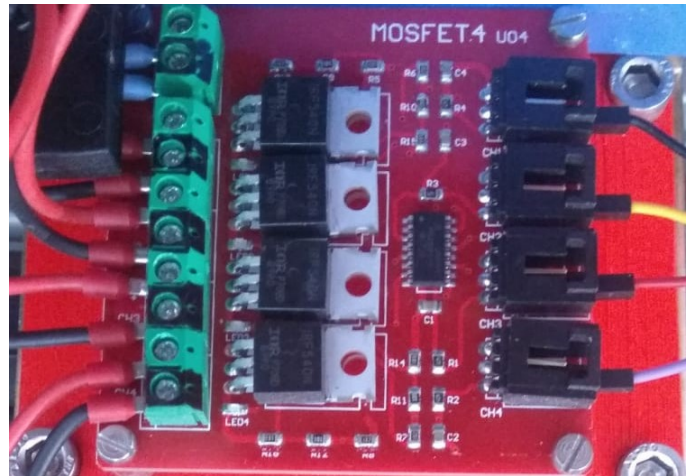


Fig. 4.24. Conexionado real en placa MOSFET4

La numeración de las salidas de la placa MOSFET4 según se muestra en la figura anterior de arriba a abajo, en el lado izquierdo de la figura, quedaría representada como alimentación, CH4, CH3, CH2 y CH1.

4.2.4. Cámara e iluminación

4.2.5. Cámara

La decisión de la cámara ha venido dada por la resolución mínima necesaria que debe tener.

En primer lugar se cuenta con que la cámara estará situada a unos 50 cm del traje del que se detectarán los fluidos y posibles roturas. Y se espera que la cámara abarque un radio de entre 30 a 60 cm, siguiendo una forma cónica, para el campo de visión (FOV). Establecemos entonces que el FOV máximo que se requiere es de 60 cm y que el detalle más pequeño a apreciar es de 2 mm, con esto y utilizando la ecuación que se presenta a continuación,

$$Resolucion = 2 * \frac{FOV}{Det} \quad (4.6)$$

Donde

FOV es el campo de visión máximo que se quiere abarcar

Det es el detalle menor que se quiere apreciar

$$Resolucion = 2 * \frac{600}{2} = 600 \quad (4.7)$$

Este valor de 600 píxeles es el mínimo para que cumpla con los requerimientos que se han planteado, por lo cual una resolución superior a esta será mejor.

Un pixel la unidad menor que conforma una imagen digital. En función del número de bits utilizados para representar cada pixel es como se determina el número de colores a representar [29].

Para el cálculo de la lente se utiliza una relación entre la distancia de trabajo, la distancia focal, el campo visual y el tamaño del sensor. Las lentes se fabrican con una distancia focal limitada, como puede ser 6 mm, 8 mm, 12.5 mm, 25 mm, y 50 mm. Para tratar de evitar la distorsión que producen las lentes con distancias focales cortas, menores de 12 mm, se va a intentar encontrar una lente con al menos 12.5 mm.

Se puede reducir a que a mayor distancia focal, mayor aumento. Pero sin olvidar que una distancia focal pequeña equivale a un ángulo de visión mayor, y que las lentes con distancias focales muy cortas generan distorsión en la imagen.

La cámara que se adquiere es la Cámara GigE DFK Z12G445. Con las siguientes características:

- Zoom motorizado
- Distancia focal $f=4.8$ hasta 58 mm
- Lente 1/3 "Sony CCD
- Hasta 1280x960 pixel
- Hasta 30 imágenes/s
- Entrada trigger y I/O
- 8 bits
- Alimentación 10 a 13 VCC
- Rango de temperatura -5 a 45 grados centígrados
- Rango de humedad 20 % to 80 %

La resolución que la cámara posee es de 1280x960 en cada imagen, lo que es una resolución más que adecuada para poder apreciar los detalles en las imágenes que va a tomar la cámara, ya que el mínimo valor de la resolución supera el valor planteado previamente de 600 píxeles.

Es importante observar que el rango de temperatura sea amplio para poder operar bajo diferentes condiciones, así como el rango de humedad.

Es también relevante conocer lo que se entiende por sensibilidad lumínica ya que expresa la iluminación mínima para el correcto funcionamiento de la cámara. La sensibilidad lumínica se expresa en lux (lx), que es una medida de iluminancia. Esto sirve para

ubicar que la cámara tiene una sensibilidad lumínica de 0,05 lx, que es suficiente para captar imágenes en una noche no muy iluminada.

Como la cámara utiliza 8 bit, significa que cada pixel puede codificarse con un byte, lo que da un total de 256 variaciones.

La cámara posee hasta 12 aumentos (12x), pero la resolución de la imagen variará en función del porcentaje de zoom que se aumente, a continuación se presenta una tabla comparativa.

TABLA 4.3. RELACIÓN ENTRE LA RESOLUCIÓN Y EL ZOOM EN LA CÁMARA

Porcentaje zoom (%)	Resolución (mm/px)	Tamaño de la imagen (mm)
0	0.41	524.8x393.6
30	0.21	268.8x201.6
60	0.14	179.2x134.4
90	0.056	71.7x53.8
100	0.042	53.8x40.3

4.2.6. Iluminación

Para la elección de la iluminación se ha planteado la posibilidad de buscar un producto ya diseñado o de diseñar unos focos. Por sencillez del proyecto se han elegido unos focos comerciales.

Los factores clave para decidir entre un modelo u otro han sido:

- El peso de los focos.
- El precio de venta, que no sea muy elevado.
- Que los focos se puedan controlar de forma remota.
- Que los focos se puedan encender/ apagar por zonas, para el control de sombras.

Se decide el modelo Neweer CN-LUX360, que cumple la mayoría los factores que se han presentado previamente, estos focos se han diseñado para ser utilizados en fotografía y por lo cual llevan una alimentación de tres pilas AAA y se encienden, así como se apagan de forma manual. Además, se puede regular la intensidad luminosa de forma manual con una rueda.

Para poder controlar los focos de forma remota se añade un conector que controla la alimentación, de forma que se alimenta por una fuente externa, en lugar de utilizando pilas. Se utiliza una placa MOSFET4 para controlar el encendido/ apagado de cada uno de los focos de forma individual, para evitar los posibles problemas que generen las sombras.

La relación entre posición, canal y ID asignado se presenta en la siguiente tabla.

TABLA 4.4. POSICIÓN FOCOS Y CANAL MOSFET

Posición	ID Foco	Canal Mosfet
Arriba	1	3
Abajo	4	1
Izquierda	3	4
Derecha	2	2

Para la modificación de los focos se han utilizado unos conectores tipo coaxial de 2.5 mm, como se puede comprobar en la figura a continuación. Para poder conectar dichos conectores se ha realizado un agujero en los focos, y se ha quitado la sujeción de las pilas.



Fig. 4.25. Montaje de la adaptación de los focos

Además se ha modificado la alimentación de forma que se controle por la placa MOSFET, como se puede observar en las siguiente figura.



Fig. 4.26. Adaptación electrónica de los focos

Se debe conectar VCC al conector positivo del soporte de las pilas. GND al conector negativo del panel de control y NC al terminal negativo en el soporte de las pilas, y quitar la conexión existente previamente entre en terminal negativo de las pilas y el panel de control.

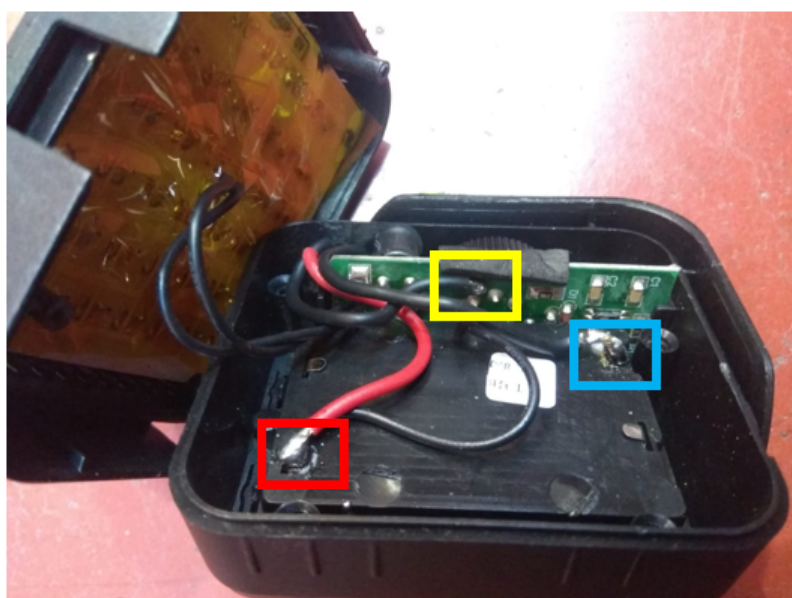


Fig. 4.27. Adaptación electrónica de los focos

En la figura el VCC correspondería al recuadro rojo, el GND al recuadro amarillo y el NC al recuadro azul.

Como resultado del conjunto de focos y cámara podemos apreciar que se ha diseñado una pieza 3D para la sujeción del conjunto y ha quedado tal y como se representa en la

siguiente figura.

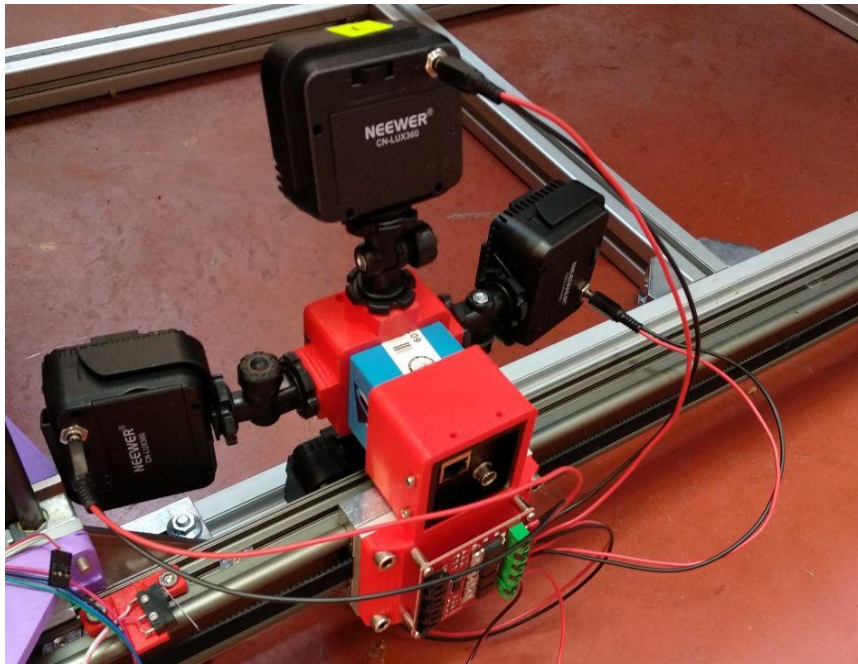


Fig. 4.28. Conjunto focos y cámara

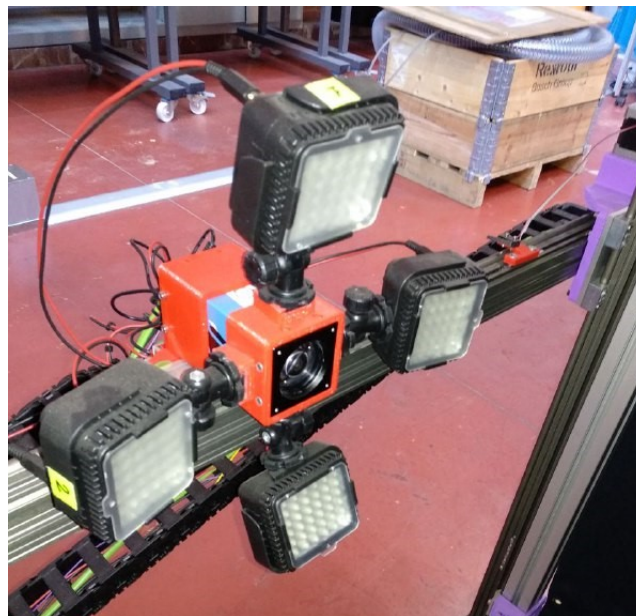


Fig. 4.29. Conjunto focos y cámara frontal

4.2.7. Cableado de datos

Para la comunicación con la cámara se utiliza un cable de ETHERNET. Para el correcto funcionamiento del envío de datos se va a comparar el cable CAT5 y el CAT6, de forma que se utilice el cable que responda mejor a las necesidades del sistema.

En primer lugar hacemos una comparación entre las posibles velocidades que se ma-

nejan en las diferentes categorías de cables y sus anchos de banda en una distancia igual de 100 m:

TABLA 4.5. COMPARATIVA CAT 5 VS CAT 6

TIPO	Velocidad Máxima (Mb/s)	Mhz
CAT 5	100	100
CAT 5e	1000	100
CAT 6	1000	250
CAT 6a	10000	500

A parte de la velocidad es importante también el tipo de trenzado, a fin de reducir las posibles interferencias entre ellos mismos y los cables exteriores. Cuanto mayor y más frecuente sea el trenzado mejores resultados, así como menores serán las interferencias en el cable de red. En cuanto al conector, ambos utilizan un conector RJ45 ya que se utilizan 4 pares de cables trenzados.

Respecto al tipo de apantallado, podemos encontrar diferentes posibilidades:

- UTP: No incluye ningún apantallado.
- FTP: Cuenta con un apantallado entre la vaina y los partes.
- STP: Cada par va apantallado individualmente.
- SFTP: Cuenta con un apantallado entre la vaina y los cables y, además, cada par va apantallado individualmente.

Dadas de las necesidades del proyecto con un cable tipo UTP será suficiente ya que no se manejan grandes cantidades de cableado que puedan interferir en el correcto funcionamiento del mismo.

Una vez analizados todos los aspectos de los diferentes cables, se llega a la conclusión que el cable que permite una mejor operabilidad dentro del rango en el que nos encontramos es el cable CAT6 UTP.

Capítulo 5

Conclusiones

En el presente capítulo se exponen las conclusiones obtenidas de la realización del trabajo de fin de grado (TFG) y una serie de mejoras y trabajos a desarrollar en las líneas futuras.

5.1. Conclusiones

La primera conclusión que obtenemos del TFG es que se ha cumplido la motivación y principal objetivo del mismo, tal que se ha desarrollado un sistema para realizar de forma más segura el equipo de protección individual (EPI).

De esta misma forma se ha creado la esclusa de control tal y como se ha modelado en el capítulo de desarrollo, así como su implementación en el laboratorio se ha llevado a cabo, como se puede observar en las figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.25 y 4.26. A raíz de su montaje experimental se ha tenido que realizar elecciones de motores, de sensores y diferentes sistemas de visión e iluminación.

En primer lugar y tras realizar una revisión del marco regulador se llega a la conclusión de que el recubrimiento realizado con lona negra, tal y como se puede ver en el anexo B, lista de materiales, hace que el sistema no sea apto para ser implementado en hospitales ya que al estar en contacto con enfermedades con alto riesgo de contagio y como se puede ver en la tabla 3.1, las superficies deben ser impermeables al agua y de fácil limpieza. La lona al estar compuesta por algodón no cumple este requisito.

En cuanto al desarrollo de electrónica y control, uno de los problemas que se han encontrado es el sobrecalentamiento de los drivers DRV8825, en los cuales se han situado disipadores, además de colocar un pequeño ventilador para tratar de evitar esto, pero no ha sido suficiente. Se plantea la posibilidad de que las resistencias de medición que se utilizan en los drivers no sean las más adecuadas o que el driver se sobrecaliente debido a que el motor requiere 1.68 A, que no supera el máximo, pero que si que esta por encima del valor óptimo de la corriente para el mismo.

Respecto a las conclusiones obtenidas a nivel personal, la autora considera el proyec-

to permite la oportunidad de ver el funcionamiento de un proyecto completo, así como enseña sobre temas que quedarían fuera del campo formativo de no ser por la posibilidad brindada por el proyecto y por el tutor, dado mi nulo conocimiento sobre cámaras, motores y el sistema arduino que se ha implementado.

Como resultado se puede concluir que se trata de un sistema bastante adecuado dentro de las posibilidades que se exponían en el capítulo de estado del arte, y que el objetivo del desarrollo de la esclusa se puede dar por concluido, aun que siempre se pueden llevar a cabo mejoras como se expondrá en el apartado de líneas futuras.

5.1.1. Evaluación de los objetivos

Como se ha expuesto en el capítulo primero, en objetivos se plantearon tanto unos objetivos generales del proyecto como unos específicos, en cuanto a los objetivos generales, el primer era que fuera de fácil montaje y dado que se han utilizado elementos sencillo para el montaje se puede decir que es un objetivo cumplido.

En cuanto al bajo coste de implementación, una vez presentado el presupuesto en el apartado de gestión del proyecto se puede comprobar que con unos gastos de material y funcionamiento inferiores a 4.000€ este objetivo se ha cumplido, de forma bastante satisfactoria.

Respecto a la integración en las esclusas ya existentes es un objetivo cumplido pero que se puede mejorar aprovechando el espacio ya existente evitando la inclusión de una estructura extra dentro de la sala ya existente. Es cierto que la estructura se puede instalar dentro de las esclusas ya existentes no siendo necesario habilitar ningún emplazamiento extra, pero también es cierto que es un objetivo el cual se debe de seguir trabajando en él.

Respecto a los objetivos operativos que se han planteado:

- El diseño 3D de la esclusa, es un objetivo que se da por cumplido de forma correcta, como se puede comprobar en el apartado “Modelado”.
- Elección y montaje de la cámara y equipo de iluminación, este objetivo también se da por cumplido de forma correcta, la elección queda justificada como se puede apreciar en el apartado “Cámara e iluminación”.
- Diseño de la sujeción de cámara e iluminación, se puede ver integrado en la figura 4.6, y una vez probado en la imagen 4.25 se da por cumplido.
- Implementación real de la esclusa, dado que se ha llevado a cabo el montaje se da tanto este objetivo por cumplido.
- Montaje de la cámara y equipo de iluminación, al igual que el objetivo anterior este se cumple.
- Diseño e implementación de base rotatoria, este objetivo no se da por cumplido ya que la implementación de la base rotatoria no se ha llevado a cabo, en tanto que si

que se presentan dos posibilidades en el apartado “Plataforma giratoria”, por lo cual la parte de diseño si se habría cumplido.

En general la evaluación de los objetivos tanto generales como específicos es bastante positiva, dentro de las mejoras que se pueden llevar a cabo y se van a presentar en el siguiente apartado. La mayoría de objetivos se han llevado a cabo.

5.2. Líneas futuras

En este apartado se van a presentar los desarrollos futuros respecto a los siguientes puntos:

En primer lugar habrá que elegir una plataforma giratoria, para llevar a cabo la implementación de la misma dentro de la esclusa de seguridad, se han planteado dos opciones factibles dentro del apartado “Plataforma giratoria”.

En segundo lugar tratar el sobrecalentamiento de los drivers, para los cuales se proponen la siguiente opción con mayor amperaje para intentar evitar el tema del sobrecalentamiento de los mismos, como por ejemplo el driver basado en el chip TB6600, que se puede integrar en la RAMPS 1.4. Otra opción es añadir un relé que soporte un amperaje de 5 A, y que evite el sobreampereaje del driver, de forma que el driver DRV8825 active el relé y sea este el que de la alimentación al motor.

Además como se ha comentado en las conclusiones hay que modificar el recubrimiento de la esclusa por un material impermeable, para ajustarse al Real Decreto 664/1997, por lo que se propone sustituir la lona por un recubrimiento opaco de plástico, como puede ser el plástico negro que se utiliza en las obras.

Otra mejora bastante interesante es añadir unos focos de luz ultravioleta (UV), como se comentó en el capítulo “Estado del arte”, esta luz hace resaltar los fluidos con los que puede haberse contaminado el traje tales como saliva, vómitos u orina.

Como última propuesta de mejora se propone la posibilidad de diseñar algún sistema para desinfectar automáticamente toda la esclusa, tanto las paredes de la misma como la cámara, ya que puede haberse visto comprometida en algún análisis de los equipos de protección individual.

Bibliografía

- [1] W. H. Organization. (2018). Enfermedades epidémicas y pandémicas, [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/csr/disease/es/>.
- [2] H. L. Pizzi, “Virus del Ebola (EVE)”, *Revista de Salud Pública*, vol. 18, n.º 3, pp. 74-78, 2014.
- [3] W. H. Organization. (2018). Enfermedad por el virus del Ebola, [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>.
- [4] W. H. Organization, “Ebola Situation Report 8 April 2015”, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://apps.who.int/ebola/current-situation/ebola-situation-report-8-april-2015>.
- [5] W. H. Organization. (2015). Ebola virus disease, [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>.
- [6] W. H. Organization, “Pasos para quitarse el EPI, incluido el overol”, 2015. [En línea]. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/153539/WHO_HIS_SDS_2015.4_spa.pdf?sequence=1.
- [7] S. S. e. I. Ministerio de Sanidad. (2015). PROTOCOLO DE ACTUACIÓN FRENTE A CASOS SOSPECHOSOS DE ENFERMEDAD POR VIRUS ÉBOLA (EVE), [En línea]. Disponible en: https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/ebola/documentos/16.06.2015-Protocolo_Ebola.pdf.
- [8] S. R. de Salud, *Orden y procedimiento para colocarse las medidas barreras*, 2008.
- [9] H. U. L. P. y El País. (2014). Retirada y eliminación del Equipo de Protección Individual (EPI), [En línea]. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2014/10/08/media/1412795366_182631.html.
- [10] Y. LeCun, Y. Bengio y G. Hinton, “Deep learning”, *Nature*, vol. 521, n.º 7553, pp. 436-444, mayo de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1685003444?accountid=14501>.
- [11] C. C. de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados. (2012). Health effects of security scanners for passenger screening (based on X-ray technology), [En línea]. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/security-scanners/es/1-2/3-technology.htm#0.

- [12] R. Alvarez. (2015). Atención si viajas a EE.UU., la TSA ahora puede obligarte a pasar por el escáner corporal, [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/seguridad/atencion-si-viajas-a-ee-uu-la-tsa-ahora-puede-obligarte-a-pasar-por-el-escaner-corporal>.
- [13] T. J. K. y Soo Hyun Choi y Sung Min Kim y Kyung Wha Oh, “Automatic Structure Analysis and Objective Evaluation of Woven Fabric Using Image Analysis”, *Textile Research Journal*, vol. 71, pp. 261-270, mar. de 2001.
- [14] J. G. y. G. C. S. Hong Zhang, “Artificial neural network-based image pattern recognition”, en *Proceedings of the 30th annual Southeast regional conference*, 1992, pp. 437-441.
- [15] R. N. y Rajiv Padhye, “Automation in Garment Manufacturing”, en. 2018, cap. Automation in fabric inspection.
- [16] M. de la Gobernación, *Decreto de 26 de julio de 1945 por el que se aprueba el Reglamento para la lucha contra las Enfermedades Infecciosas, Desinfección y Desinsectación*, 1945. [En línea]. Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/d/1945/07/26/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/d/1945/07/26/(1)/con).
- [17] M. de la Presidencia, *Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo*, 1997. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/12/664/con>.
- [18] M. de la Presidencia, *Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*, 1997. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/30/773/con>.
- [19] C. Europeo, *DIRECTIVA 89/656/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual*, 1989. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0656:20070627:ES:PDF>.
- [20] A. E. B. O. del Estado, *Código de Propiedad Intelectual*, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=087_Codigo_de_Propiedad_Intelectual_&modo=1.
- [21] C. Europeas, *Directiva 2001/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de mayo de 2001, relativa a la armonización de determinados aspectos de los derechos de autor y derechos afines a los derechos de autor en la sociedad de la información*. 2001. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2001-81549>.
- [22] C. de Berna, *Convenio de Berna para la Protección de las Obras Literarias y Artísticas*, 1886.
- [23] T. d. I. O. OMPI, “sobre Derecho de Autor (WCT)(1996)”, *Ginebra, Suiza, Publicación*, n.º 226, 2005.
- [24] B. U. C. III. (2019). Licencias creative commons, [En línea]. Disponible en: <https://uc3m.libguides.com/TFG/plagio>.

- [25] U. C. I. de Madrid. (2010). Reglamento de Organización de la Asignatura Trabajo Fin de Grado del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/15935>.
- [26] R. E. de España. (2019). Estructura de generación, [En línea]. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total>.
- [27] M. de Economía y Competitividad, *Orden ECC/1333/2015, de 2 de julio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas públicas del Programa Estatal de Liderazgo Empresarial en I+D+I, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2015/07/02/ecc1333>.
- [28] M. Garcia. (2013). Control de Servos con Java y Raspberry PI mediante I2C, [En línea]. Disponible en: <https://unpocodejava.com/2013/08/19/control-de-servos-con-java-y-raspberry-pi-mediante-i2c/>.
- [29] R. G. Latinoamérica. (). ¿Qué es un pixel?, [En línea]. Disponible en: <http://redgrafica.com/Que-es-un-pixel>.
- [30] M. de Accidentes de Trabajo y enfermedades profesionales de la seguridad social numero 61, *Manual de Seguridad y Salud en el Sector Hospitalares*.
- [31] C. Interterritorial, “Unidades de aislamiento de alto nivel (UAAN)”, Sistema Nacional de Salud, inf. téc., 2018.
- [32] (2018). RepRap Arduino Mega Pololu Shield Arduino MEGA based modular RepRap electronics, [En línea]. Disponible en: https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4.
- [33] A. Constans Aubert, R. M. Alonso Espadalé y J. Pérez Nicolás, “Utilización de los equipos de protección individual frente al riesgo biológico por el personal sanitario”, *Medicina y Seguridad del Trabajo*, vol. 54, n.º 210, pp. 35-45, 2008.
- [34] J. Herrero, R. Moriel, S. Herrero, A. Moltó y E. Herrero, “Equipos de Protección Individual en situaciones de alto riesgo de exposición a virus Ébola”, en *IX Congreso Nacional de los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales en el Ámbito Sanitario*, 2015.

Anexo A. Presupuesto desglosado

PRESUPUESTO DE PROYECTO

1.- Autora: Cristina Guzmán

2.- Departamento: Ingeniería de sistemas y automática

3.- Descripción del Proyecto:

- Título: Desarrollo e implementación de esclusa para la inspección robotizada de los trajes de protección del personal sanitario
- Duración (meses): 6
Tasa de costes indirectos: 20%

4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):

13.405,20 Euros

5.- Desglose presupuestario (costes directos)

PERSONAL

Apellidos y nombre	Categoría	Dedicación (Hora)	Coste hora (Euro)	Coste (Euro)	Firma de conformidad
Cristina Guzmán	Ingeniero Junior	300	10,00	3.000,00	
Juan Carlos Gonzalez Victores	Ingeniero Senior	80	35,00	2.800,00	
David Estévez	Ingeniero	100	20,00	2.000,00	
Total				7.800,00	

EQUIPOS

Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable
Cámara Zoom GigE DFK Z12G445	960,00	100	12	15	768,00
Neewer CN-LUX360	100,00	100	12	15	80,00
Impresora 3D	1.000,00	15	6	15	60,00
HIPRO HP D250AA0	50,00	80	15	15	40,00
Perfiles Aluminio IGUS	250,00	100	15	15	250,00
Sistema de railes	1.500,00	100	12	15	1.200,00
Acopladores	90,00	100	12	15	72,00
Motores NEMA 17	60,00	100	12	15	48,00
Ordenador HP Hewlett-Packard	500,00	20	9	15	60,00
Tarjeta Arduino MEGA 2560	35,00	100	12	15	28,00
Pololu DRV8825	20,00	100	12	15	16,00
MOSFET4	20,00	100	12	15	16,00
Tarjeta RAMPS 1.4	20,00	100	12	15	16,00
Final de carrera KW4A (S)	5,00	100	12	15	4,00
Total					2.658,00

SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS

Descripción	Empresa	Coste imputable
Total		0,00

OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO⁹⁾

Descripción	Empresa	Costes imputable
Cables	Ferretería "El iman"	30,00
Conectores	Amazon	10,00
Cable de red Cat6 UTP	Pc Components	3,00
Tornillos	IGUS	100,00
Telas	Tiendatelas.com	300,00
Cadeneta	IGUS	150,00
Ojales	Bricor	20,00
Escuadras	IGUS	100,00
Total		713,00

⁹⁾ Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas, otros,...

6.- Resumen de costes

Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales
Personal	7.800
Amortización	2.658
Subcontratación de tareas	0
Costes de funcionamiento	713
Costes Indirectos	2.234
Total	13.405

Anexo B. Lista de materiales

Componente	Descripción	Unidades
Cámara	Zoom GigE Modelo: DFK Z12G445, Sensibilidad: 0.05 lx, Zoom: 12x, Resolución: 1280x960p	1
Focos	Neewer Modelo: CN-LUX360, 36 LED, Temperatura de color: 5400K	4
Fuente de alimentación	HIPRO Modelo: HP D250AA0, 250W	1
Perfiles Aluminio IGUS	Largos 2 m,	4
	Cortos 1.2 m	12
Railes IGUS	Largos 2 m, ZLW-1040-02-S-100-L/R	2
	Corto 1.2 m, ZLW-1040-02-B-100-L	1
Motor NEMA 17	Eje X, Motor paso a paso bipolar, SY42STH47-1206A, Pasos por vuelta: 200, Alimentación: 4 V, 1,2 A por fase, Par motor: 3.2 kg * cm	1
	Eje Y, Motor paso a paso bipolar, 17HS19-1684S-PG5, Ángulo de paso: 0.35 deg, Alimentación: 2.8 V, 1.68 A por fase, Par motor: 5.2 kg * cm	1
Acoplador	COU-AR-K-050-080-25-26-B-AAAA	2
Final de carrera	KW4A (S)	2
Tornillos	Cabeza martillo 8.8 M8x25	100
Tela	Lona de algodón negra, Composición: 100 % Algodón, Peso Aproximado 425 gr/m ² , Ancho 280 cm	13 metros
Cadeneta	IGUS E2.1	200 piezas
Ojales	Diametro 10 mm	100
Escuadras	Escuadras de aluminio para unir los perfiles	48
Cableado	Breadboard Jumper, macho a macho, hembra a hembra, hembra a macho	50 metros
Cable de red	Cat6 UTP	1
Conectores	Coaxiales de 2.5x5.5mm	4

Componente	Descripción	Unidades
Interruptor octoacoplado	MOSFET4 4 puertos IRF540	1
Placa extensión	RAMPS 1.4 Compatible con Arduino Mega 2560 Alimentación: 12 V Conexión hasta 5 motores paso a paso y sus drivers	1
Driver de corriente	POLOLU DRV8825, Voltaje operativo mínimo: 8.2 V, Voltaje operativo máximo: 45 V, Corriente máxima por fase: 2.2 A, Corriente continua por fase: 1.5 A, Resolución de microstep: Completo, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, and 1/32	2
Placa microcontroladora	Arduino MEGA 2560, Voltaje de entrada de 7 a 12V, 54 pines digitales de E/S, 16 entradas analógicas, cristal de 16MHz	1

Anexo C. Conexionado eléctrico y electrónico

